

# UNIVERSIDAD DE CUENCA



## FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

### “DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE SÍSMICO PARA ESTUDIOS DE ESTABILIDAD EN EL MACRO- DESLIZAMIENTO GUARUMALES”

Trabajo de grado previo a la obtención  
del Título de Ingeniero Civil

**Autor:**

**Nicolás Iván Zalamea Vanhaecke**  
**C.I. 010575978-1**

**Director:**

**Ing. Juan Carlos Jiménez Pacheco, Ph.D.**  
**C.I. 010226096-5**

**Cuenca – Ecuador**  
**Abril 2017**

## RESUMEN

El Ecuador, por su ubicación en el cinturón de fuego del Pacífico, registra amenazas sísmicas moderadas a altas. El 16 de abril del 2016 en las costas del cantón Pedernales el país sufrió un terremoto de 7,8 de magnitud que reportó 663 muertes y millones en pérdidas materiales. Uno de los efectos más destructivos de un sismo es la inducción de deslizamientos de tierra.

En el presente se estudia la ladera Guarumales, ubicada en las estribaciones orientales de la Cordillera de los Andes. En dicha ladera se emplaza el campamento de la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC) para el proyecto hidroeléctrico “El Molino”, uno de los más grandes del país.

Los principales métodos para evaluar la estabilidad de laderas son el método de equilibrio-límite y el método de esfuerzo-deformación. El método más usado es el método pseudoestático que está basado en el equilibrio límite.

El objetivo de este trabajo es la determinación del coeficiente sísmico ( $k$ ) que se utilizará para estudiar la estabilidad del macro-deslizamiento Guarumales.

Comúnmente se obtiene el coeficiente sísmico como una fracción de la aceleración máxima horizontal. Bray y Rathje (1998) proponen que la fracción de la aceleración máxima horizontal depende de los parámetros del movimiento (magnitud, distancia, duración, periodo medio). La Sección de Geotecnia de la División de Los Ángeles de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles recomienda este criterio para evitar conservadurismos excesivos.

El coeficiente sísmico obtenido es menor que los utilizados anteriormente debido a la disminución del rango de incertidumbres que supone el simplificar un fenómeno dinámico a un análisis estático.

Esta metodología se recomienda para el estudio de laderas, sin embargo es necesaria mayor prospección en la ladera para poder tomar acciones para controlar y mitigar el macro-deslizamiento.

**Palabras Claves:** Análisis pseudoestático, coeficiente sísmico, análisis probabilístico de amenaza sísmico, macro-deslizamiento Guarumales.

## ABSTRACT

Equator, located in the Pacific Ring of Fire, registers moderate to high seismic hazards. April 16<sup>th</sup> of 2016 in the coastline on Pedernales city the country suffered a 7,8 magnitude earthquake that costed 663 lives and millions in material loss. One of the most destructive effects of seismic activity is the induction of landslides.

This work studies Guarumales landslide, located in the oriental foothills of the Andes Mountains. There lies the Electric Corporation of Equator (CELEC) campsite for one of the most important hydroelectric projects in the country, Project “El Molino”.

The fundamental methods for slope stability evaluation are limit equilibrium analysis and stress-deformation analysis. The most used procedure is the pseudostatic analysis, which is based in limit equilibrium.

The objective of this study is to determinate the seismic coefficient for a pseudostatic slope stability analysis for Guarumales landslide.

Usually the seismic coefficient is a fraction of the maximum horizontal acceleration. Bray and Rathje (1998) propose that fraction is a function of the ground motion parameters (magnitude, distance, duration of the earthquake and mean period of the earthquake). The American Society of Civil Engineers Los Angeles Section Geotechnical Group recommends this criteria to reduce unnecessary conservatism.

The obtained seismic coefficient is lower than the previously used due to the reduction of uncertainties that the over simplification of a dynamic phenomenon to a static analysis.

This method is recommended for slope analysis, however further prospection is needed if actions are meant to be done.

**Keywords:** Pseudostatic analysis, seismic coefficient, Probabilistic seismic hazard analysis, Guarumales landslide.

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>7</b>
<b>CAPITULO 1 - INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 ANTECEDENTES.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>12</b>
1.2.1 Objetivo General .....	12
1.2.2 Objetivos Específicos .....	13
<b>1.3 ALCANCE Y LIMITACIONES .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPITULO 2 - MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 ESTABILIDAD DE LADERAS.....</b>	<b>14</b>
2.1.1 Análisis de equilibrio límite .....	14
2.1.2 Análisis de esfuerzo-deformación .....	15
2.1.3 Deslizamientos inducidos por sismos. ....	15
2.1.4 Método pseudoestático.....	16
<b>2.2 AMENAZA SÍSMICA .....</b>	<b>18</b>
2.2.1 Método Probabilístico .....	18
<b>2.3 PROCEDIMIENTO RECOMENDADO POR LA DIVISION DE GEOTECNIA DE LA SECCIÓN DE LOS ANGELES DE LA SOCIDAD AMERICANA DE INGENIEROS CIVILES .....</b>	<b>22</b>
2.3.1 Establecimiento del modelo analítico .....	22
2.3.2 Estimación de aceleración máxima en sitio .....	23
2.3.3 Exploración de amenazas de licuación .....	24
2.3.4 Evaluación del coeficiente sísmico de sitio .....	24
2.3.5 Cálculo pseudoestático de estabilidad .....	26
2.3.6 Análisis de desplazamiento de la ladera .....	28
<b>CAPITULO 3 - CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE .....</b>	<b>32</b>
3.1.1 Mapa topográfico .....	32
3.1.2 Perforaciones.....	32
3.1.3 Sísmica de refracción .....	32





<b>3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA LADERA.....</b>	<b>33</b>
3.2.1 Ensayos de Nakamura .....	36
3.2.2 Monitorización de inclinómetros .....	37
3.2.3 Determinación de la superficie de falla .....	37
3.2.4 Determinación de las frecuencias fundamentales de la franja de análisis del macro-deslizamiento.....	38
<b>3.3 CÁLCULO DE AMENAZA SÍSMICA.....</b>	<b>38</b>
3.3.1 Fuentes Sísmicas .....	38
3.3.2 Obtención de parámetros de la Ley de Regresión de Gutenberg-Richter .....	39
3.3.3 Magnitudes máximas esperadas.....	40
3.3.4 Aceleraciones máximas esperadas.....	41
<b>3.4 DETERMINACION DE PARAMETROS DE MOVIMIENTO DE TERRENO .....</b>	<b>42</b>
<b>3.5 DETERMINACION DEL FACTOR DE SISMICIDAD (f). .....</b>	<b>44</b>
<b>CAPITULO 4 - INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>46</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>47</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>48</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Geometrías comunes de la superficie de falla. a) Plana; b) multiplanar; c) circular; d) no circular (Kramer s.f.) .....	14
Figura 2 Esquema de fuerzas actuantes para un análisis de estabilidad pseudoestático en una superficie de falla plana .....	16
Figura 3 Criterios para análisis de estabilidad pseudoestático. Tomado de (Baker, y otros 2006).....	17
Figura 4 Ajuste de la Ley de Recursividad de Gutenberg-Richter y Gutenberg-Richter corregido tomado de (J. Baker 2008) .....	20
Figura 5 Valores de $f_{eq}$ en función de $MHAr$ .....	26
Figura 6 MHEA normalizado en función del Período fundamental de la masa deslizante normalizado (Bray, Rathje, y otros 1998) .....	29
Figura 7 Definición de la altura de la masa deslizante .....	30
Figura 8 Desplazamiento de deslizamiento normalizado (Bray, Rathje, y otros 1998).....	31
Figura 9 Ubicación de los Perfiles Topográficos y Sísmicos (Obtenida de la Documentación de CELEC EP).....	33
Figura 10 Aceleraciones Máximas para un periodo de retorno de 475 años del austro del Ecuador. (Peñafiel, Regulación Sísmica y Actualización del Peligro Sísmico en el Austo Ecuatoriano 2000).....	35
Figura 11 Curvas de frecuencias naturales en el Mapa del Campamento Guarumales.....	37
Figura 12 Fuentes sísmicas de tipo corticales del Ecuador (Alvarado, 2012) ..	38

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cantidad relativa de deslizamientos inducidos por terremotos (Keefer 1984) .....	15
Tabla 2 Magnitudes Mínimas que desencadenan deslizamientos (Keefer 1984) .....	15
Tabla 3 Coeficientes sísmicos pseudoestáticos según varios estudios. (Melo y Sharma 2004) .....	17
Tabla 4 Ejemplos de taludes que fallaron pese a cumplir con el análisis pseudoestático .....	18
Tabla 5 Resultados de la Sísmica de Refracción (obtenida de la documentación de CELEC EP) .....	32
Tabla 6 Clasificación de los deslizamientos según su velocidad de movimiento (Cruden y Varnes 1996) .....	34
Tabla 7 Resultados y ubicación de los ensayos de Nakamura realizados .....	37
Tabla 8 Fuentes sísmicas corticales y sus tipos de falla (Alvarado 2012) .....	39
Tabla 9 Zonas sismo tectónicas que influyen en el proyecto con los parámetros para la Relación de Gutenberg-Richter .....	40
Tabla 10 Probabilidad de no excedencia de terremotos de diversa magnitud por zonas .....	40
Tabla 11 Magnitudes y Distancias de los eventos sísmicos para un periodo de retoro de 475 años. ....	41
Tabla 12 Aceleraciones máximas esperadas usando la ecuación de atenuación de Cornell (Ecuación 9) .....	41
Tabla 13 Parámetros para determinar el periodo medio del sismo según la condición de sitio. (Rathje, Abrahamson y Bray 1998) .....	43
Tabla 14 Parámetros de movimiento de terreno $D_{5-95}$ y $T_m$ .....	44
Tabla 15 Factores de participación y coeficientes sísmicos para umbrales de desplazamiento de 5cm y 15cm. ....	45



Nicolás Iván Zalamea Vanhaecke, autor del Trabajo de Titulación "DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE SÍSMICO PARA ESTUDIOS DE ESTABILIDAD EN EL MACRO-DESLIZAMIENTO GUARUMALES", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, Mayo 2017

Nicolás Iván Zalamea Vanhaecke

C.I: 010575978-1





Nicolás Iván Zalamea Vanhaecke, autor del Trabajo de Titulación "DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE SÍSMICO PARA ESTUDIOS DE ESTABILIDAD EN EL MACRO-DESLIZAMIENTO GUARUMALES", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, Mayo 2017

Nicolás Iván Zalamea Vanhaecke

C.I: 010575978-1



## **DEDICATORIA**

*A mis padres Patricia y Carlos, por todo el apoyo en todos los proyectos que he emprendido y con especial cariño a mis abuelitos Marleen y Luís por tantas lecciones que estoy pendiente por recibir.*



## AGRADECIMIENTOS

*A todos los profesores y amistades, grandes personas que estuvieron en mi camino pero un agradecimiento especial a mi director de tesis Ing. Juan Jiménez por sus consejos, conocimientos y tiempo dedicado a este trabajo, así como también al equipo de la Red Sísmica del Austro: Ing. Remigio Guevara, Ing. José Calderón e Ing. Iván Palacios. También expreso mi agradecimiento a CELEC, particularmente a la Gerencia en Gestión Ambiental, a cargo del Ingeniero Juan Pablo Guzmán, así como a los Ingenieros Pablo Vázquez, Raul Villacis y Jessica Robles por abrirme las puertas y para acceder a la información requerida.*

## CAPITULO 1 - INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

La ladera está constituida por las rocas metamórficas del Grupo Alao-Paute, en donde resaltan los esquistos cloríticos, esquistos micáceos y cuarcitas, bajo una capa de suelo coluvial limo arcilloso (Estudio Geológico-Geotécnico para Diseño de Vía de Acceso a Casa de Máquinas, 2015). En lo que respecta al macro-deslizamiento, se registra un desplazamiento anual en el rango de 10-15cm anuales (Informe de Monitorización Anual 2012 de Ladera Guarumales, CELEC). Además, la NEC 2015 ubica el sector dentro de la Zona Sismogénica III, es decir de peligrosidad sísmica alta ( $Z=0.3$ ).

El estudio de estabilidad bajo cargas sísmicas puede enfocarse con diversos procedimientos, entre los más conocidos: el método pseudoestático, el método de esfuerzo-deformación (usando elementos finitos) y el método de los desplazamientos de Newmark.

El método más empleado es el método pseudoestático. En este método, basado en el Equilibrio Límite, se aplica una aceleración horizontal desestabilizante a la masa de suelo y se busca el factor de seguridad resultante del cociente entre las fuerzas actuantes y las resistentes. Dicha aceleración horizontal se expresa típicamente como una fracción de la aceleración pico del sismo máximo probable.

La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, Sección de Geotecnia de Los Ángeles, expone los criterios para el estudio de estabilidad en laderas en su reporte técnico “Lineamientos Para Analizar y Mitigar amenazas de Deslizamientos en California” (2002), al cual, en adelante nos referiremos como LAMD.

El propósito del presente trabajo es aportar a la implementación del Plan Integrar de Mitigación y Control de Laderas Inestables en la Cuenca del Paute, proyecto de especial interés la Unidad de Gestión Ambiental de Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP). El interés nace por la importancia de la cuenca para los proyectos de generación hidroeléctrica que conforman el Complejo Hidroeléctrico Paute Integral. En ese marco, se ha discutido la posibilidad de la celebración de un convenio entre la Red Sísmica del Austro (RSA) y la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP) para evaluar la estabilidad de las laderas considerando los efectos generados por eventos sísmicos.

### 1.2 OBJETIVOS

#### 1.2.1 Objetivo General

Determinar el coeficiente sísmico a partir del cual se debe proceder a analizar la estabilidad de la ladera Guarumales mediante el método pseudoestático.



### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Aplicar el procedimiento recomendado por la Sección Geotécnica de la División de Los Ángeles de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles para la determinación del coeficiente sísmico para utilizar en el estudio de estabilidad de laderas bajo acciones sísmicas.
- Determinar las frecuencias fundamentales de la ladera de estudio en la sección central de la ladera, donde se ubicará la franja representativa para el estudio de estabilidad.
- Definir las principales fuentes de amenaza sísmica a las que está sujeta la ladera.

## 1.3 ALCANCE Y LIMITACIONES

El presente trabajo se limitará a estudiar el deslizamiento en su falla principal, a pesar de evidenciarse la existencia de escarpes y planos de falla secundarios dentro de la masa deslizante en la información recuperada.

El nivel de certeza de los procedimientos empleados en este proyecto depende en gran medida de las prospecciones realizadas con anterioridad. Estas prospecciones no fueron realizadas específicamente para este análisis. No se realizaron perforaciones, o prospecciones geofísicas específicas para este proyecto.

Algunos de los parámetros empleados para caracterizar el comportamiento dinámico del suelo no pudieron obtenerse de manera experimental, de modo que fueron determinados de manera indirecta o en base a recomendaciones de la literatura.

El análisis de amenaza sísmica presenta múltiples criterios y consideraciones variadas según varios autores. Lo que se recomienda es analizar críticamente su pertinencia de uso y aplicación. Al no ser el tema de estudio del presente trabajo no se profundizará en el análisis de amenaza sísmica.

## CAPITULO 2 - MARCO TEÓRICO

### 2.1 ESTABILIDAD DE LADERAS

En los estudios de estabilidad de laderas las fuerzas actuantes consideradas son las de gravedad y, si aplica, las sísmicas. Los métodos para evaluarlos son diversos pero principalmente se engloban entre los análisis de equilibrio límite y los análisis de esfuerzo-deformación.

La falla se produce cuando las fuerzas actuantes sobrepasan las fuerzas resistentes. En laderas y taludes es común que las cargas estáticas son muy grandes en comparación a las cargas dinámicas. Por esta razón es común usar métodos estáticos para evaluar la estabilidad de laderas bajo cargas dinámicas, como los sismos. (Kramer)

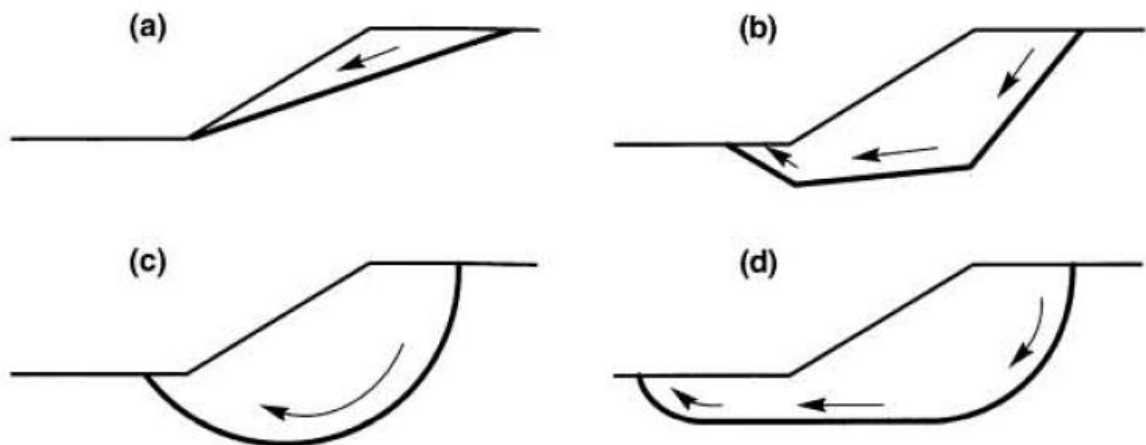


Figura 1. Geometrías comunes de la superficie de falla. a) Plana; b) multiplanar; c) circular; d) no circular (Kramer)

#### 2.1.1 Análisis de equilibrio límite

El análisis de equilibrio límite se basa en hallar el cociente entre las fuerzas resistentes y las fuerzas actuantes. Este cociente se conoce como factor de seguridad. Existe una vasta variedad de procedimientos que la bibliografía ofrece para realizar este análisis.

Permite obtener superficies de falla más probables así como el factor de seguridad respectivo.

### 2.1.2 Análisis de esfuerzo-deformación

El análisis de esfuerzo-deformación por lo general se realiza empleando elementos numéricos, considerando el comportamiento de la curva esfuerzo-deformación del suelo. Permite modelar materiales con comportamientos no lineales, geometrías o condiciones de contorno complicadas.

Permite obtener patrones de esfuerzos, desplazamientos o presiones de poros.

### 2.1.3 Deslizamientos inducidos por sismos.

Los sismos como inductores de inestabilidad en laderas actúan de dos maneras: incrementando los esfuerzos actuantes y, además, disminuyendo la resistencia del suelo (licuefacción y resistencia histerética)

Los métodos para evaluar las laderas más empleados son el método pseudoestático, método del bloque deslizante de Newmark, método de Makdisi-Seed, o análisis con elementos Finitos.

La tabla 1 se puede apreciar la frecuencia relativa de deslizamientos inducidos por sismos observada en 40 sismos con magnitudes desde los 5,2 hasta 9,5. En la tabla 2 se aprecia las magnitudes mínimas que producen deslizamientos obtenidas del mismo estudio realizado por Keefer (Keefer, 1984).

**Table 10-2** Relative Abundance of Earthquake-Induced Landslides from Study of 40 Historical Earthquakes Ranging from  $M_s = 5.2$  to  $M_w = 9.5$

Abundance	Description
Very abundant ( $> 100,000$ in the 40 earthquakes)	Rock falls, disrupted soil slides, rock slides
Abundant (10,000 to 100,000 in the 40 earthquakes)	Soil lateral spreads, soil slumps, soil block slides, soil avalanches
Moderately common (1000 to 10,000 in the 40 earthquakes)	Soil falls, rapid soil flows, rock slumps
Uncommon	Subaqueous landslides, slow earth flows, rock block slides, rock avalanches

Source: Keefer (1984).

**Tabla 1 Cantidad relativa de deslizamientos inducidos por terremotos (Keefer, 1984)**

Magnitud del Sismo	Tipo de deslizamiento producido
4.0	Caídos de roca, deslizamientos de roca, caídos de suelos y alteraciones de masas de suelo.
4.5	Deslizamiento de traslación, rotación y bloques de suelo.
5.0	Flujos de suelo, esparcimientos laterales, deslizamientos subacuáticos
6.0	Avalancha de roca
6.5	Avalancha de suelo

**Tabla 2 Magnitudes Mínimas que desencadenan deslizamientos (Keefer, 1984)**

### 2.1.4 Método pseudoestático

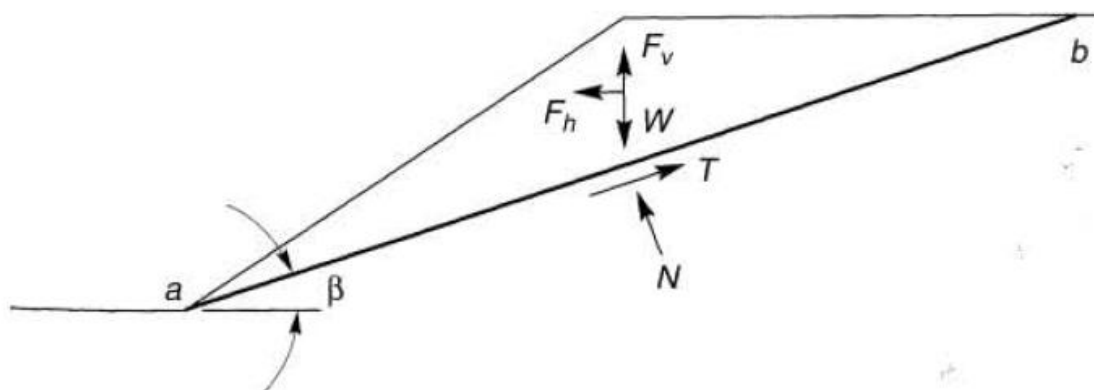


Figura 2 Esquema de fuerzas actuantes para un análisis de estabilidad pseudoestático en una superficie de falla plana

El método pseudoestático se basa en el equilibrio límite, en el cual se introduce la fuerza sísmica mediante una aceleración inercial (estática) horizontal en el sentido más desfavorable de la ladera. Por lo general esta aceleración se expresa como un coeficiente sísmico ( $k$ ) que multiplica a la gravedad. La componente vertical del sismo se la desprecia al ser considerablemente pequeña en relación al peso de la masa de suelo. La figura 2 muestra un esquema de las fuerzas actuantes para un análisis pseudoestático.

Al estar basado en el equilibrio límite lo que se busca es obtener el factor de seguridad resultante de la relación de las fuerzas resistentes (cohesión y fricción interna) y las fuerzas desestabilizantes (peso propio y fuerza sísmica). Imponiéndose diferentes superficies de falla se busca la más desfavorable (con el factor de seguridad más bajo). Este método puede evaluar superficies de falla planas, circulares y no circulares.

Los resultados que derivan de un análisis pseudoestático son fuertemente dependientes del valor del coeficiente sísmico seleccionado dado que este controla la magnitud de la fuerza pseudoestática horizontal inducida por el sismo. Este coeficiente depende de la aceleración máxima del sismo, pero el hecho que las masas de suelo no se comporten de manera rígida y que dicho pico de aceleración ocurra en un período muy corto de tiempo permite que se tomen valores considerablemente menores a la aceleración máxima horizontal. En la tabla 3 se presentan los diferentes consideraciones para determinar el coeficiente sísmico ( $k$ ) según diversos autores y normas; así como los factores de seguridad mínimos aceptables y las condiciones de calibración (Jibson, 2011) (Melo & Sharma, 2004). La figura 3 muestra la envolvente de los diferentes criterios que la bibliografía expone.

Pseudostatic coefficients from various studies

Investigator	Recommended pseudostatic coefficient ( $k$ )	Recommended factor of safety ( $FS$ )	Calibration conditions
Terzhagi (1950)	0.1 (R-F = IX) 0.2 (R-F = X) 0.5 (R-F > X)	> 1.0	Unspecified
Seed (1979)	0.10 (M = 6.50) 0.15 (M = 8.25)	>1.15	< 1 m displacement in earth dams
Marcuson (1981)	$0.33-0.50 \times \text{PGA}/g$	> 1.0	Unspecified
Hynes-Griffin and Franklin (1984)	$0.50 \times \text{PGA}/g$	> 1.0	< 1 m displacement in earth dams
California Division of Mines and Geology (1997)	0.15	>1.1	Unspecified; probably based on < 1 m displacement in dams

R-F is Rossi-Forel earthquake intensity scale

M is earthquake magnitude

PGA is peak ground acceleration

Tabla 3 Coeficientes sísmicos pseudoestáticos según varios estudios. (Melo &amp; Sharma, 2004)

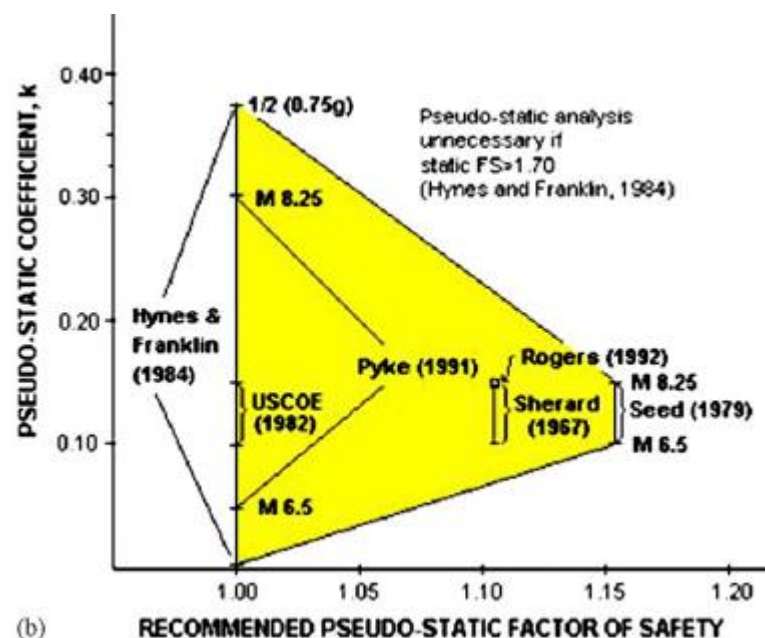


Figura 3 Criterios para análisis de estabilidad pseudoestático. Tomado de (Baker, Shukha, Operstein, &amp; Frydman, 2006).

Las limitaciones del análisis pseudoestático se basan en el hecho de simplificar excesivamente los comportamientos de un efecto dinámico y complejo como es la

dinámica de suelos en un solo valor de aceleración constante, despreciando la pérdida de capacidad portante que un sismo induce en la masa de suelo, es por esto que este método es poco recomendado para suelos con gran presión de poros y que pierdan más de 15% de su capacidad portante durante un sismo. (Kramer) La tabla 4 presenta las represas que pese a cumplir el análisis pseudoestático, con los coeficientes sísmicos y factores de seguridad indicados, presentaron falla ante un evento sísmico. (Seed, 1979)

Dam	$k_h$	FS	Effect of Earthquake
Sheffield Dam	0.10	1.2	Complete failure
Lower San Fernando Dam	0.15	1.3	Upstream slope failure
Upper San Fernando Dam	0.15	-2-2.5	Downstream shell, including crest slipped about 6 ft downstream
Tailings dam (Japan)	0.20	-1.3	Failure of dam with release of tailings

Source: After Seed (1979).

Tabla 4 Ejemplos de taludes que fallaron pese a cumplir con el análisis pseudoestático

## 2.2 AMENAZA SÍSMICA

Para el cálculo de la amenaza sísmica existen dos métodos el determinístico y el probabilístico. En el método determinístico se establece el máximo sismo que una falla o nido sísmico puedan producir, esto puede resultar subjetivo y presenta inconvenientes en la práctica. (Baker J. , 2008)

### 2.2.1 Método Probabilístico

El método probabilístico no busca el máximo sismo posible, sino que estudia todos los sismos posibles con su probabilidad de ocurrencia. De manera que el sismo de diseño será el que corresponda a una probabilidad de excedencia considerada tolerable. Un análisis de amenaza sísmica probabilístico se compone de cinco pasos.

- Identificar todas las fuentes sísmicas capaces de generar aceleraciones en el sitio de estudio.
- Caracterizar la distribución de magnitudes de los eventos sísmicos.
- Caracterizar la distribución de distancias entre la fuente y el lugar de análisis.
- Predecir la distribución de la aceleración como una función de la magnitud, distancia, mecanismo de la falla, condiciones de sitio, etc.
- Combinar todas las distribuciones anteriores empleando el Teorema de Probabilidad Total (ecuación 1)

$$P(B) = \sum_{i=1}^n P(B|A_i)P(A_i) \quad (1)$$

La probabilidad de excedencia tolerable es el inverso del tiempo de retorno considerado. Por lo general se utiliza 475 años, que equivale a una probabilidad de excedencia del 10% para un periodo de 50 años.

#### 2.2.1.1 Distribución de magnitudes de los eventos sísmicos

La Ley de recurrencia de Gutenberg-Richter (Gutenberg & Richter, 1944) establece la relación entre la magnitud de un sismo y la probabilidad que ocurra un evento igual o de mayor magnitud como se ve en la ecuación 2.

$$\log \lambda_m = a - bm \quad (2)$$

donde:  $\lambda_m$  es número de eventos anuales de magnitud mayor o igual a M; M es la magnitud del sismo; a y b son constantes específicos de cada zona sísmica. Estas constantes se pueden determinar mediante regresiones de un catálogo sísmico.

Aplicando la Ley de recurrencia de Gutenberg-Richter la distribución acumulada de magnitud queda definida como la Ecuación 3.

$$F_m(M) = 1 - 10^{-b*(M-M_{min})} \quad (3)$$

donde  $F_m(M)$  es la probabilidad de ocurrencia un evento con magnitud mayor o igual a M.

La probabilidad bruta de un evento sísmico ( $f_m$ ) queda definida como la derivada de la probabilidad acumulada (Ecuación 4)

$$f_m(M) = b * \log(10) * 10^{-b*(M-M_{min})} \quad (4)$$

Empíricamente se ha observado que la magnitud de un sismo llega a un valor máximo para cada fuente, por lo que se debe realizar una corrección y colocar un límite a la Ley de recurrencia de Gutenberg-Richter, como se ve en la figura 4.



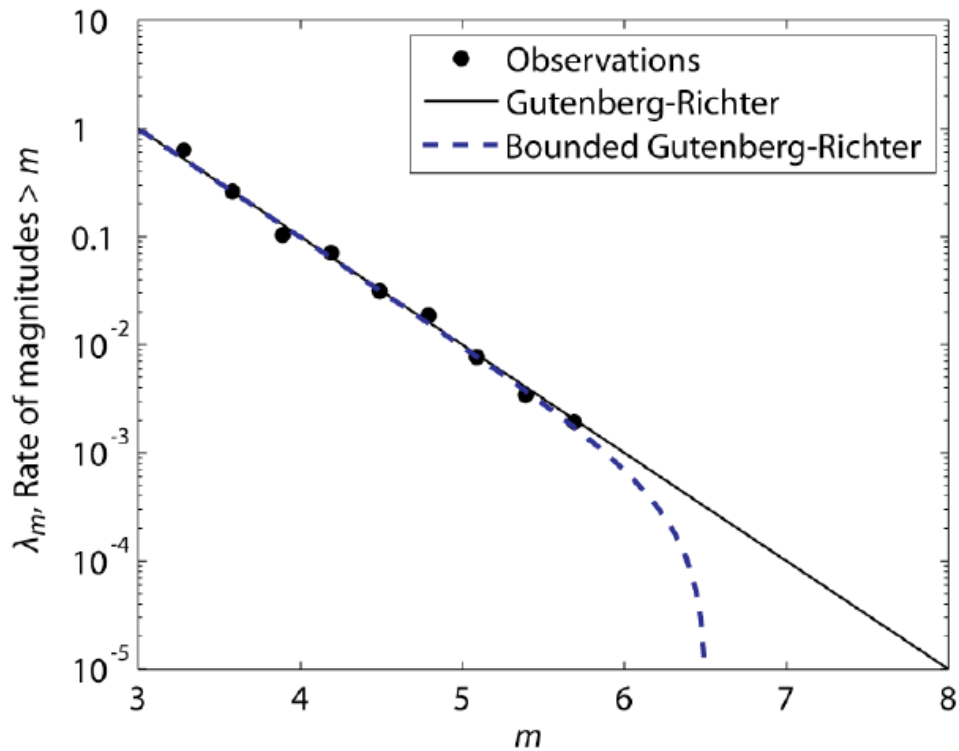


Figura 4 Ajuste de la Ley de Recursividad de Gutenberg-Richter y Gutenberg-Richter corregido tomado de (Baker J. , 2008)

Con la corrección las probabilidades quedan definidas por la Ecuación 5 y la Ecuación 6.

$$F_M(m) = \frac{1 - 10^{-b(m-m_{\min})}}{1 - 10^{-b(m_{\max}-m_{\min})}}, \quad m_{\min} < m < m_{\max} \quad (5)$$

$$f_M(m) = \frac{b \ln(10) 10^{-b(m-m_{\min})}}{1 - 10^{-b(m_{\max}-m_{\min})}}, \quad m_{\min} < m < m_{\max} \quad (6)$$

### 2.2.1.2 Distribución de distancias de la fuente y el lugar de estudio

Partiendo del supuesto que un evento sísmico tiene la misma probabilidad de ocurrir en cualquier punto de la fuente sísmica se puede establecer la probabilidad que el sismo ocurra a una distancia dada.

Para un sitio de análisis a una distancia  $d$  la probabilidad acumulada se muestra en la Ecuación 7 y la probabilidad bruta en la Ecuación 8.

$$F_r(r) = \frac{\text{longitud de la falla dentro de la distancia } r}{\text{longitud total de la falla}} = \frac{2\sqrt{r^2-d^2}}{L} \quad (7)$$

$$f_r(r) = \frac{d}{dr} F_r(r) = \frac{2*r}{L*\sqrt{r^2-d^2}} \quad (8)$$



Donde  $F_r(r)$  es la probabilidad que el sismo se produzca a una distancia igual o menor a  $r$  y  $f_r(r)$  es la probabilidad que el sismo ocurra a una distancia  $r$ .

### 2.2.1.3 Distribución de las aceleraciones

Los modelos o leyes de atenuación determinan la aceleración que un sismo produciría en un punto dado. Diversos modelos y leyes son planteadas por diversos autores como Palacio (1987), Saragoni (1981), Goldsack (1976), Ruiz-Saragoni(1985), Aguiar(2010). Un estudio detallado del tema en el Ecuador se documenta en (Peñafiel, Regulación Sísmica y Actualización del Peligro Sísmico en el Austo Ecuatoriano, 2000)

La Ecuación 9 define la ley de atenuación planteada por Cornell (1973).

$$\overline{\ln PGA} = -0.152 + 0.859M - 1.803 \ln(R + 25) \quad (9)$$

Donde  $\ln PGA$  es el logaritmo de la aceleración máxima esperada para una magnitud  $M$  y distancia  $R$ . La desviación estándar de este modelo es constante en 0,57.

La distribución de probabilidad de excedencia de una aceleración  $x$  para una magnitud y distancia dadas es. esta definida por la ecuación 10.

$$P(PGA > x | m, r) = 1 - \Phi \left( \frac{\ln x - \overline{\ln PGA}}{\sigma_{\ln PGA}} \right) \quad (10)$$

Donde  $\Phi$  es la función de distribución normal acumulada estándar.

### 2.2.1.4 Teorema de probabilidad total

Aplicando el teorema de probabilidad total (ecuación 1) se puede deducir que la probabilidad que la aceleración sísmica producida por una fuente sísmica supere un valor  $x$  en un sitio dado se determina con la ecuación 11.

$$P(IM > x) = \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \int_0^{r_{\max}} P(IM > x | m, r) f_M(m) f_R(r) dr dm \quad (11)$$

Si se suman las probabilidades de todas las fuentes sísmicas que inciden en un sitio se tiene la probabilidad que en ese sitio se produzca esa aceleración. El periodo de retorno para una aceleración estudiada sería el inverso de la probabilidad de ocurrencia.

Es posible sumarle una desviación estándar a la distribución de probabilidad de aceleraciones de sitio, de manera de tener la certeza que no será superada la aceleración en un 84% de los casos. Sin embargo es aceptado emplear la con un nivel de confianza del 50%.

## **2.3 PROCEDIMIENTO RECOMENDADO POR LA DIVISION DE GEOTECNIA DE LA SECCIÓN DE LOS ANGELES DE LA SOCIDAD AMERICANA DE INGENIEROS CIVILES**

El método recomendado por la División de Geotecnia de la Sección de Los Ángeles de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles en su reporte técnico *Guidelines for Analyzing and Mitigating Landslide Hazards in California* (Lineamientos para Analizar y Mitigar amenazas de Deslizamiento de laderas en California) al cual nos referiremos en adelante como LAMD (Committee, 2002). Se basa en el siguiente procedimiento:

- Establecer un modelo analítico para la ladera considerada.
- Estimar la aceleración máxima esperada en el sitio para una condición de sitio en roca.
- Analizar posibles amenazas de licuación.
- Evaluar el coeficiente sísmico de sitio para un umbral predeterminado de desplazamiento (considerado aceptable).
- Desarrollar el cálculo pseudoestático de estabilidad.
- En caso de no superar la revisión de estabilidad, analizar el desplazamiento del deslizamiento de la ladera.

Cabe, por último advertir que el análisis de amenazas de licuefacción, si bien consta en el LAMD como parte de un estudio de estabilidad, no está desarrollado. En este tópico, el LAMD remite al reporte técnico del Comité de Amenazas de Licuefacción (Martin & Lew, 1999).

### **2.3.1 Establecimiento del modelo analítico**

En términos de geometría, es esencial determinar la tipología de la masa deslizante en función de la forma de la superficie crítica de deslizamiento. Consideraciones pertinentes sobre el establecimiento de esta superficie se hacen el apartado 5.

Además de la geometría del sitio, se requiere conocer sus condiciones geológicas y estratigrafía, usando los ensayos de campo apropiados. Una buena guía a este respecto es el capítulo 4 del LAMD.

Por otra parte, es importante determinar las condiciones del agua sub-superficial. La presencia de agua subterránea en una ladera puede causar la reducción en la resistencia a corte de la masa deslizante y el incremento de las fuerzas de desestabilización. El capítulo 5 del LAMD presenta una serie de consideraciones relevantes sobre este aspecto.

En términos de caracterización mecánica, las resistencias del suelo corresponden a condiciones de carga dinámica. Una guía detallada acerca de la obtención de muestras y la realización del ensayo de corte se presenta en los capítulos 6 y 7 del LAMD.

### 2.3.2 Estimación de aceleración máxima en sitio

Los parámetros de movimiento del terreno usados en los procedimientos de análisis de deslizamiento sísmico de laderas (Cap. 10, LAMD) son la máxima aceleración horizontal esperada (MHA), la duración de la fase fuerte del sismo ( $D_{5-95}$ ) y el período medio del movimiento del terreno ( $T_m$ ).

En la aproximación determinista, se selecciona un escenario sísmico específico (con su magnitud y localización particular), y el movimiento del terreno (MHA) se estima usando relaciones de atenuación apropiadas. Para un par magnitud-distancia dado, las relaciones de atenuación proporcionan una distribución probabilista del parámetro de movimiento del terreno, descrita en términos de una media y una desviación estándar. Por tanto, incluso con una adopción determinista del sismo en términos de magnitud y distancia, hay todavía un rango de movimientos potenciales del terreno que pueden ocurrir en virtud de las relaciones de atenuación.

Dependiendo del nivel de conservadurismo deseado, se suele usar la media (50 percentil) o la media más una desviación estándar (84 percentil) en relación al parámetro del movimiento del terreno (típicamente, la aceleración máxima esperada en el sitio, MHA). Cuando se usan relaciones de atenuación para aceleración, cada incremento de desviación estándar incrementa el parámetro de movimiento de terreno por un factor de 1.5 a 2. En el ámbito de estudios de emplazamiento, asumir el “peor caso” de movimiento del terreno puede conducir a valores muy elevados de MHA, al punto que, en muchos de los casos, hace inviable el proyecto estructural.

En la aproximación probabilista se consideran varios sismos potenciales (escenarios sísmicos), con ubicaciones y magnitudes relevantes para las fuentes sísmicas consideradas dentro del área de influencia asumida (300-400 km alrededor del sitio de interés, según varias normativas). Además, por cada sismo considerado, la aproximación probabilista toma en cuenta el rango posible de movimientos del terreno y sus probabilidades de ocurrencia asociadas, basadas en la relación de atenuación adoptada.

La aproximación probabilista reporta cuán probable es la excedencia de diferentes niveles (asumidos) de movimiento del terreno en el sitio de interés en un período de tiempo dado (período de retorno).

Puesto que esta aproximación consiste en la suma de la contribución de todos los posibles sismos originados en las fuentes sísmicas consideradas, no existe un único par magnitud-distancia asociado a un valor estimado de aceleración. Se requiere esfuerzo adicional para extraer la magnitud y distancia que contribuyen más fuertemente a la aceleración en un nivel dado de peligrosidad; dicha magnitud y distancia se denominan magnitud modal ( $\bar{M}$ ) y distancia modal ( $\bar{r}$ ). Esto obedece a un proceso de desagregación del estudio de peligrosidad para una aceleración dada.

El Comité (LAMD, 2002) cree que un análisis de peligrosidad sísmica probabilista sobre un sitio específico con desagregación es el método más conveniente de estimación del parámetro de movimiento del terreno para el análisis de peligrosidad sísmica en laderas.

El análisis de peligrosidad sísmica probabilista sobre un sitio específico puede desarrollarse usando software comercial. Alternativamente, mapas de peligrosidad pueden usarse para estimar aceleraciones en diferentes niveles de peligrosidad.

En cuanto a los otros parámetros, necesarios para la evaluación de estabilidad ( $D_{5-95}$  y  $T_m$ ), para una magnitud ( $M$ ), distancia ( $r$ ) y condición de sitio  $S$ , se cuenta en la literatura con ecuaciones de regresión (Abrahamson & Silva, 1996); (Rathje, Abrahamson, & Bray, 1998)) que proporcionan no un valor sino una distribución log-normal para  $D_{5-95}$  y  $T_m$ . Para uso con la metodología de desplazamiento sísmico de laderas, se recomienda el uso de valores medios de  $D_{5-95}$  y  $T_m$  (LAMD, 2002).

### 2.3.3 Exploración de amenazas de licuación

Para el análisis de posibles peligros de licuación, el LAMD remite al reporte técnico del Comité de Amenazas de Licuefacción (Martin & Lew, 1999).

Con todo, se establece que si se espera licuefacción del suelo, las resistencias residuales post-licuefacción deberían usarse en lugar de la caracterización común de resistencias del suelo bajo condiciones dinámicas.

### 2.3.4 Evaluación del coeficiente sísmico de sitio

El coeficiente sísmico ( $k$ ) representa la fracción del peso de la masa deslizante de ladera que se aplica como una fuerza horizontal equivalente (actuante en el centroide de masas).

El coeficiente sísmico,  $k$ , depende de dos factores: 1) la máxima aceleración esperada para el sitio en cuestión, para una condición de sitio de roca blanda,  $MHA_r$  y 2) factor relativo a la sismicidad del sitio,  $f_{eq}$ . Se evalúa según la fórmula:

$$k_{eq} = f_{eq} \times (MHA_r / g) \quad (12)$$

Los valores de  $f_{eq}$ , dependientes de la magnitud y la distancia, se estiman usando un modelo para desplazamientos de ladera inducidos por sismo basado en un análisis tipo Newmark.

El modelo de Bray y Rathje (Bray & Rathje, E, Earthquake-induced displacements of solid-waste landfills, 1998) se usa para relacionar magnitud, distancia y  $MHA$  con  $f_{eq}$ . Dicho modelo se plantea sobre la base de la adopción de un umbral de desplazamiento de Newmark.

Lo ideal es seleccionar el umbral de desplazamiento tolerable en base a la correlación entre desplazamientos observados y nivel de daño asociado a estos desplazamientos. Al no existir dicha base de datos no se dispone de una base para seleccionar el desplazamiento admisible. Sin embargo se recomienda:

- En superficies con infraestructura como edificaciones o piscinas el desplazamiento admisible debe ser menor a los 5cm.
- En superficies con suelos dúctiles que no tengan infraestructuras el desplazamiento admisible debe ser menor a los 15cm.
- En suelos propensos a ablandamiento por tensión si se utiliza la resistencia máxima no se debe permitir un desplazamiento mayor a los 5cm, caso contrario se puede emplear la resistencia residual y mantener el desplazamiento menor a los 15cm.

Los umbrales de desplazamiento presentados se basan en el método de bloque deslizante de Newmark, por lo que pueden ser razonables para cuando se tiene planos de falla bien definidos. Para deslizamientos donde los desplazamientos se producen en amplias zonas únicamente sirve como un indicador del desempeño.

Así, se disponen de formulaciones y curvas (Figura 5) que evalúan para varias combinaciones de aceleración máxima esperada ( $MHAr$ ), magnitud y distancia, los valores de  $f_{eq}$  con una probabilidad de excedencia del 50% del umbral de desplazamiento asumido (5 o 15 cm). Estas regresiones fueron realizadas por (Bray & Rathje, E, Earthquake-induced displacements of solid-waste landfills, 1998) en base a 309 análisis de desplazamiento de Newmark para diferentes valores de  $k_y/k_{max}$ .

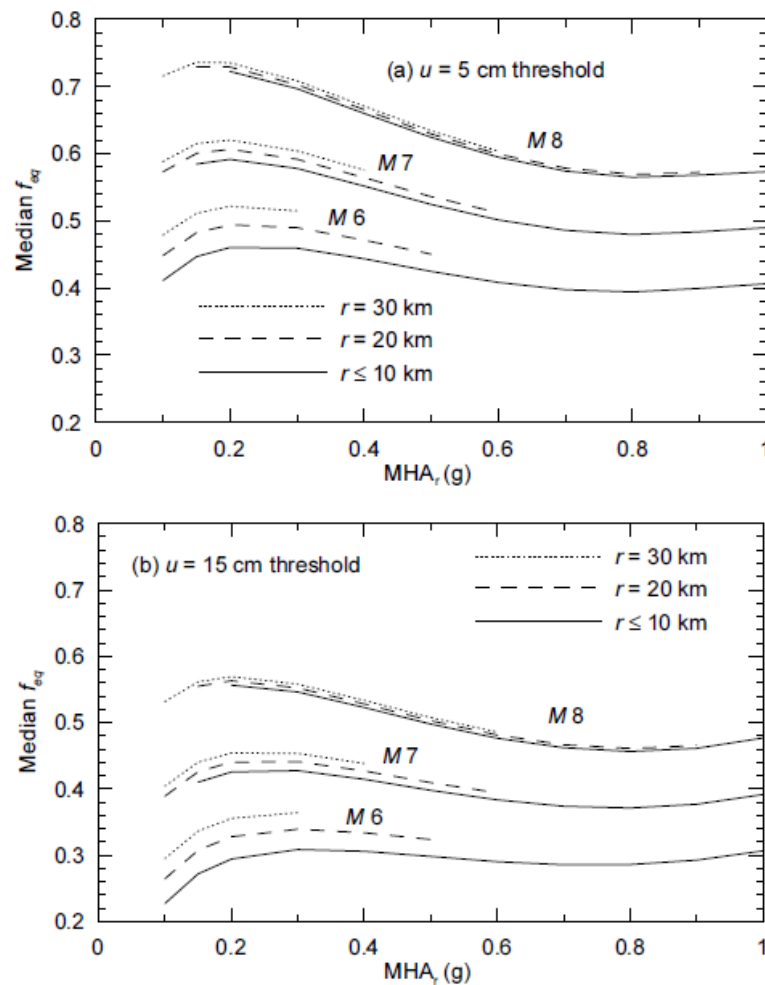


Figura 5 Valores de  $f_{eq}$  en función de  $MHA_r$

El Comité (LAMD, 2002) decidió usar una probabilidad del 50%, ya que un apartamiento de este nivel de probabilidad podría significar una desviación significativa del nivel de peligrosidad sísmica asociado a un período de retorno (estándar) de 475 años.

### 2.3.5 Cálculo pseudoestático de estabilidad

El análisis de revisión de estabilidad se basa en la representación pseudoestática de la estabilidad de la ladera.

El procedimiento se implementa incorporando un coeficiente sísmico horizontal ( $k$ ) en un cálculo de estabilidad de laderas convencional.

La estabilidad estática de laderas se analiza dividiendo una vista de perfil de la masa de suelo en una serie de rebanadas y calculando, mediante la aplicación del método de equilibrio límite, el factor de seguridad.

El análisis de estabilidad estática requiere el conocimiento de la geometría de la ladera y estimaciones de la resistencia del suelo.

Los métodos de equilibrio límite asumen que la masa de suelo se comporta como un cuerpo rígido y no requiere información sobre su comportamiento esfuerzo-deformación. También se asume que la resistencia de corte se activa simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla.

Existen varios métodos de equilibrio límite disponibles. Los métodos de equilibrio límite difieren entre sí en dos aspectos: 1) asunciones para el balance entre el número de ecuaciones de equilibrio y el número de incógnitas, y 2) asunciones respecto de la ubicación y orientación de las fuerzas internas entre las rebanadas consideradas.

El Comité (LAMD, 2002) presenta una tipología de superficies de falla y recomienda el método de Spencer, dado que puede abordar el problema de modo general, esto es, por una parte, realiza análisis de laderas con superficies de falla de cualquier forma, y por otra parte, prácticamente no presenta problemas de inestabilidad numérica. Para el caso de laderas con superficies circulares de falla, se admiten como alternativas los métodos de Taylor o Bishop.

Más allá del método de análisis, es fundamental desarrollar (previamente) un proceso de búsqueda de la superficie de falla crítica, que es aquella que reporta el mínimo factor de seguridad. El método de búsqueda varía dependiendo del tipo de superficie de falla y de las condiciones geológicas existentes en la ladera.

La presencia de una grieta de tensión a lo largo de la ladera estudiada normalmente es la que produce el menor factor de seguridad, de ahí que su exploración/caracterización puede ahorrar esfuerzo iterativo en la búsqueda de la superficie de falla crítica. Este proceso de búsqueda suele estar integrado en el software de evaluación de estabilidad de laderas.

El factor de seguridad, FS, se define como:

$$FS = \frac{\text{Esfuerzo de corte del suelo disponible}}{\text{Esfuerzo de corte de equilibrio}} \quad (13)$$

Si  $FS > 1$ , el sitio pasa la revisión; si  $FS < 1$ , el sitio falla. La ladera se considera que está en el punto de falla inminente cuando el FS es igual a la unidad.

Algunos autores, como (Makdisi & Seed, 1978), asumen como mínimo FS admisible un valor de 1.15. En caso de FS estar por debajo de un valor asumido como admisible, el LAMD recomienda la evaluación del (potencial) desplazamiento de la ladera y la valoración de su gravedad.



### 2.3.6 Análisis de desplazamiento de la ladera

El análisis de desplazamiento de la ladera requiere la estimación de la aceleración de cedencia ( $k_y$ ) y una aceleración horizontal equivalente (HEA ó MHEA), la cual representa la severidad del movimiento dentro de la masa deslizando.

En relación a la aceleración de cedencia ( $k_y$ ), su determinación se basa en el procedimiento de estabilidad de laderas mediante estática de equilibrio límite. Se prueban varios valores de aceleración horizontal (en representación de la acción del sismo); el valor más pequeño, que reduce el factor de seguridad contra deslizamiento a la unidad se toma como  $k_y$ .

La superficie crítica identificada en el contexto de este procedimiento será, en general, más superficial que un análisis de estabilidad de la ladera. Debe tenerse presente que la identificación de la superficie deslizando más crítica para análisis de desplazamiento sísmico de ladera depende no solamente de las propiedades del material de la ladera (como es el caso bajo condiciones estáticas), sino también de la variación del movimiento inducido en la ladera. Ha de buscarse la combinación de  $k_y/k_{max}$  que produce el máximo desplazamiento de la ladera.

En la evaluación de  $k_y$ , es crucial que las resistencias de suelo usadas en el análisis sean apropiadas para condiciones de carga dinámica. Esto puede requerir (a diferencia del caso estático) la consideración de diferentes condiciones de drenaje y efectos de degradación cíclica en la resistencia del suelo.

El análisis de desplazamiento de la ladera traduce los parámetros de MHA-M-r a una representación más útil de demanda para análisis de estabilidad.

Existen dos vías de representación de la demanda. La primera vía representa la carga sísmica con el parámetro de aceleración horizontal equivalente, HEA. HEA/g representa la relación de la fuerza de inercia horizontal (dependiente del tiempo y aplicada a la masa deslizando por el tiempo de duración del sismo) al peso de la masa.

HEA(t) se formula en términos de esfuerzos, y se obtiene, en rigor, a partir de la realización de análisis dinámicos en programas de elementos finitos bi-dimensionales. El parámetro de demanda que se obtiene de este análisis es el valor máximo de la serie temporal, esto es, la máxima aceleración horizontal equivalente: MHEA.

La segunda vía, menos compleja, estima MHEA a partir de un análisis estadístico de muchos resultado de propagación de onda en masas deslizantes. El procedimiento propuesto normaliza MHEA en la ladera por el producto de MHA<sub>r</sub> y el factor de respuesta no lineal, NRF (Non linear Response Factor). El parámetro NRF toma en cuenta efectos de respuesta no lineal del terreno como la propagación vertical (hacia arriba) de las ondas de corte a través de la masa deslizando.



La MHEA normalizada se relaciona con el período de la masa deslizante ( $T_s$ ) normalizado, a su vez, por el período medio del movimiento del terreno ( $T_m$ ), conforme se muestra en la Figura 6.

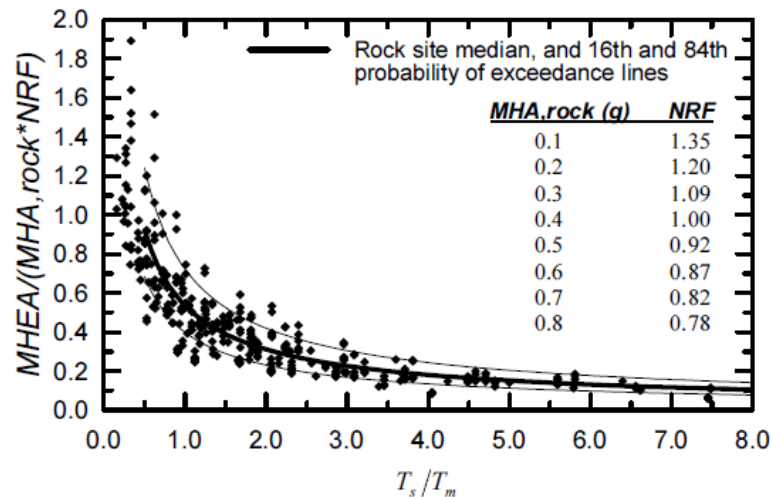


Figura 6 MHEA normalizado en función del Período fundamental de la masa deslizante normalizado (Bray, Rathje, Augello, & Merry, 1998)

Debe enfatizarse que la MHA<sub>r</sub> de la Figura 6 representa la MHA que podría esperarse en el sitio usando una condición de sitio de roca blanda, sin considerar la condición de sitio real debajo de la masa deslizante.

La cantidad  $T_m$  representa el período medio del sismo y se estima usando las relaciones (en función de la magnitud y distancia) propuestas por (Rathje, Abrahamson, & Bray, 1998), referidas en el paso 2.

$T_s$  representa el período fundamental de la masa deslizante, que puede estimarse como:

$$T_s = \frac{4H}{V_s} \quad (14)$$

en donde, H: máxima distancia vertical entre la superficie del terreno (de la masa deslizante) y la superficie de deslizamiento usada para determinar  $k_y$  (Figura 7);  $V_s$ : velocidad de onda de corte (relativo a pequeñas deformaciones) de los materiales de la masa deslizante.

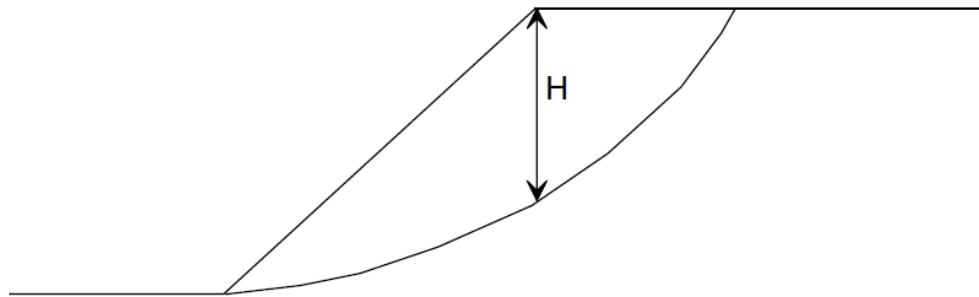


Figura 7 Definición de la altura de la masa deslizante

$V_s$  puede medirse in situ o puede estimarse usando correlaciones publicadas en la literatura.

Si se disponen de las velocidades de onda de corte de las diferentes capas sobre la superficie deslizante, un valor promedio puede estimarse, en los siguientes términos:

$$V_s = \frac{\sum_i (V_s)_i \cdot h_i}{H} \quad (15)$$

donde  $(V_s)_i$  y  $h_i$  representa las velocidades de onda de corte y los espesores de las capas dentro de la masa deslizante, respectivamente

El documento LAMD describe tres métodos de estimación de desplazamientos de laderas inducidos por sismo: dos simplificados, que utilizan MHEA para caracterizar la amplitud del movimiento dentro de la masa deslizante, y el tercero, que usa análisis dinámico y las series temporales de HEA.

En relación a los métodos simplificados, el documento de LAMD sugiere el primer método ya que aborda masas deslizantes de tipología general. Este método utiliza MHEA para caracterizar la amplitud del movimiento y  $D_{5-95}$  para caracterizar su duración.

En lo tocante al primer método, se usa la asunción simplificada de evaluación de MHEA,  $MHEA = k_{\max} \times g$ . Los desplazamientos normalizados, definidos como  $u/(k_{\max} \times D_{5-95})$  se relacionan a  $k_y/k_{\max}$ , como se muestra en la Figura 8.  $D_{5-95}$  se estima usando la relación referida en el paso 2.

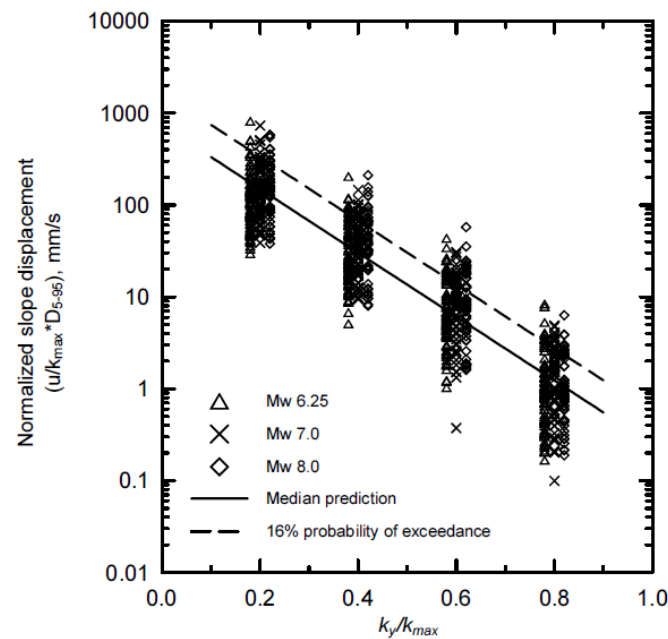


Figura 8 Desplazamiento de deslizamiento normalizado (Bray, Rathje, Augello, & Merry, 1998)

Cabe señalar que (al igual que con  $D_{5-95}$ ) el desplazamiento del deslizamiento, obtenido mediante la relación ilustrada en la Figura 8, obedece a una distribución log-normal. La guía LAMD recomienda el uso de la media de esta distribución log-normal (línea continua en Figura 8), la cual puede expresarse con la siguiente ecuación:

$$\log_{10} \left( \frac{u}{k_{\max} \cdot D_{5-95}} \right) = 1.87 - 3.477 \cdot \frac{k_y}{k_{\max}} \quad (16)$$

en donde,  $u$  es la media del desplazamiento, en cm. El error estándar es 0.35 en unidades  $\log_{10}$ .

El paso final en el análisis es decidir si el desplazamiento calculado es aceptable. Idealmente, desplazamientos permisibles deberían estar establecidos a partir de una base de datos en la cual medidas de desplazamiento de laderas (inducidos por sismo) se hayan correlacionado con medidas de daño en estructuras. Desafortunadamente, tales correlaciones no existen en suficiente cantidad como para ser fiables, y por tanto no existe actualmente una base racional para adoptar desplazamientos permisibles, apelando, entonces al juicio experto.

El juicio de la mayoría del Comité de estudio de LAMD es que si la masa deslizante determinada por la superficie crítica de deslizamiento involucra en superficie a estructuras ocupadas por personas, la media de desplazamiento del deslizamiento  $u$  debería estar por debajo de 5cm.

## CAPITULO 3 - CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 3.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE

#### 3.1.1 Mapa topográfico

Mapa topográfico elaborado por CELEC EP. Con ubicación de la instrumentación de monitoreo del deslizamiento escala 1:25000 (Anexo 1)

#### 3.1.2 Perforaciones

Se estudiaron 18 perforaciones realizadas entre los años 1994 y 1998 en las ubicaciones indicadas en el Anexo 1 elaborado por CELEC. En el Anexo 2 están los registros de perforación empleados en este estudio. Algunas de las perforaciones no tenían referencias geográficas y resultaban ilegibles, se descartaron para este trabajo. Sin embargo la descripción de las perforaciones completas está disponible en (López, 1995)

#### 3.1.3 Sísmica de refracción

Para el estudio geológico-geotécnico de estabilidad de taludes en la construcción de la vía de acceso a la sala de máquinas se realizaron 9 perfiles sísmicos como se ve en la figura 9. Los perfiles sísmicos se pueden apreciar en el Anexo 3. En la tabla 5 se ven los resultados de las prospecciones.

G U L M O L I N O	PERFIL	CAPA	Espesor m	V <sub>P</sub> m/s	V <sub>S</sub> m/s	μ	ρ ton/m3	E dinam. Kg/cm2	E esta. Kg/cm2	N <sub>SPT</sub>	Ø
	Perfil 1 (PS1)	Estrato A	4	712	498	0,021	1,70	8800	440	13	31
		Estrato B	8	1328	857	0,143	1,85	31702	1585	30	40
		Estrato C	>8	3066	1772	0,249	2,14	171130	8556	79	55
	Perfil 3 (PS3)	Estrato A	3	393	275	0,021	1,60	2518	126	4	23
		Estrato B	9	811	567	0,021	1,73	11600	580	15	33
		Estrato C	>9	1293	834	0,143	1,85	29934	1497	29	39
	Perfil 4 (PS4)	Estrato A	4,5	667	466	0,021	1,69	7664	383	11	30
		Estrato B	12,5	1081	697	0,143	1,80	20394	1020	23	36
		Estrato C	>12,5	2109	1278	0,210	2,00	80436	4022	52	47
	Perfil 5 (PS5)	Estrato A	3	419	293	0,021	1,61	2879	144	4	24
		Estrato B	10	996	697	0,021	1,78	17968	898	21	35
		Estrato C	>10	2275	1379	0,210	2,02	94857	4743	57	49
	Perfil 6 (PS6)	Estrato A	6	595	416	0,021	1,67	6020	301	9	29
Estrato B		15	1195	771	0,143	1,82	25277	1264	26	38	
Estrato C		>15	2067	1253	0,210	1,99	76995	3850	51	47	
Perfil 7 (PS7)	Estrato A	3	385	269	0,021	1,60	2411	121	3	23	
	Estrato B	7	598	418	0,021	1,67	6085	304	9	29	
	Estrato C	>7	1298	837	0,143	1,85	30183	1509	29	39	
Perfil 8 (PS8)	Estrato A	3,5	618	432	0,021	1,68	6522	326	10	29	
	Estrato B	9	707	494	0,021	1,70	8670	433	12	31	
	Estrato C	>9	1742	1124	0,143	1,93	56913	2846	42	44	
Perfil 9 (PS9)	Estrato A	3	479	335	0,021	1,63	3813	191	6	26	
	Estrato B	8	874	611	0,021	1,75	13600	680	17	34	
	Estrato C	>8	1890	1219	0,143	1,96	67908	3395	46	45	

Tabla 5 Resultados de la Sísmica de Refracción (obtenida de la documentación de CELEC EP)

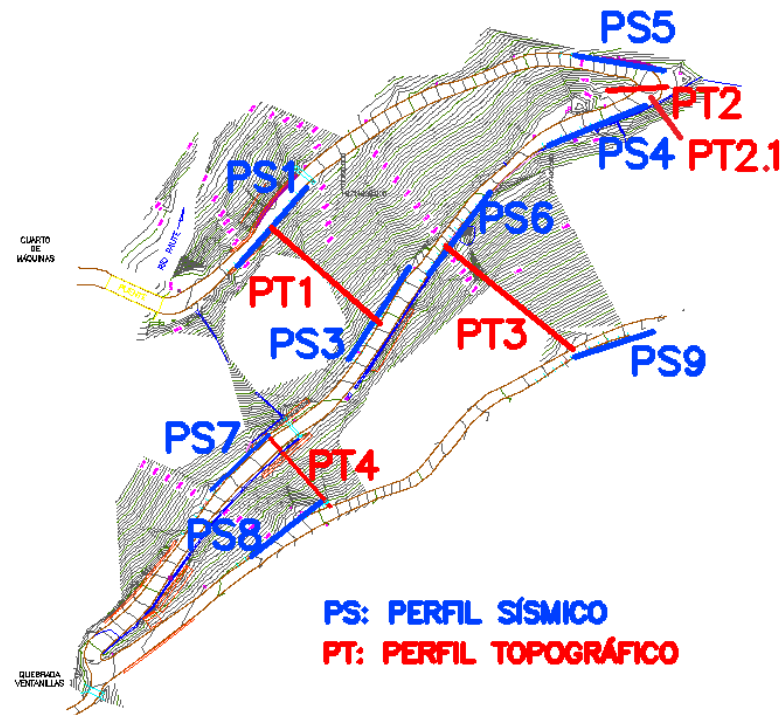


Figura 9 Ubicación de los Perfiles Topográficos y Sísmicos (Obtenida de la Documentación de CELEC EP)

### 3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA LADERA

El Campamento Guarumales es uno de los componentes importantes de la Central Hidroeléctrica Paute – Molino, la misma que se encuentra localizada al Este de la ciudad de Cuenca, aproximadamente 135 Km de distancia en carretera, en una zona de clima correspondiente al de transición entre el Subtropical Andino y el Amazónico Húmedo.

El sector de Guarumales se encuentra en la Sub-cuenca baja del Río Paute. En las cercanías de la posición UTM (784084 E, 9714900 N) se ubica un macro – deslizamiento activo con un talud superior a los 500 m, entre las cotas 1390 msnm y 1895 msnm, a una distancia aproximada de 12,5 Km de la Presa Daniel Palacios hacia el Este siguiendo por la cola del San Pablo. La pendiente media es del 35° por lo que es de fuertemente inclinado a montañoso. El vector de movimiento tiene un azimut aproximado de 300°.

CLASE	DESCRIPCIÓN	VELOCIDAD (mm/seg)	VALORES TÍPICOS	DAÑOS PROBABLES
7	Extremadamente rápido	$\geq 5e3$	$\geq 5m/s$	Violento y catastrófico. Destrucción de edificios por impacto de la masa deslizada.
6	Muy rápido	$(5e3) - (5e1)$	$(5m/s) - (3m/min)$	Destrucción de edificios y estructuras.
5	Rápido	$(5e1) - (5e-1)$	$(3m/min) - (1,8m/h)$	Destrucción de edificios y estructuras.
4	Moderado	$(5e-1) - (5e-3)$	$(1,8m/h) - (13m/mes)$	Algunas estructuras pueden mantenerse temporalmente.
3	Lento	$(5e-3) - (5e-5)$	$(13m/mes) - (1,6m/año)$	Pueden aplicarse medidas de mitigación.
2	Muy lento	$(5e-5) - (5e-7)$	$(1,6m/año) - (16mm/año)$	Pueden aplicarse medidas de mitigación.
1	Extremadamente lento	$\leq 5e-7$	$\leq 16mm/año$	Pueden aplicarse medidas de mitigación.

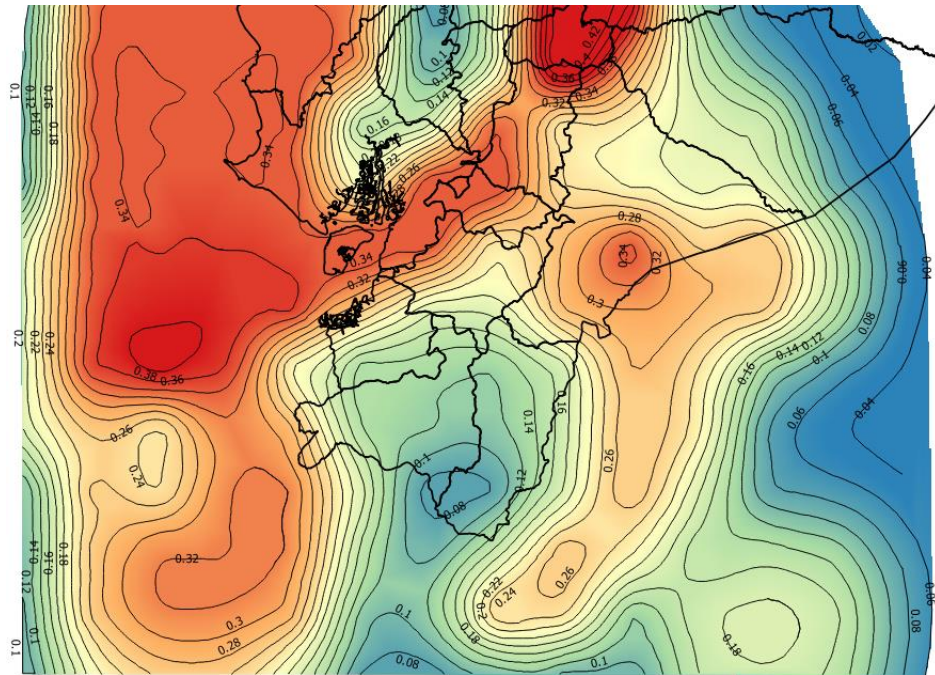
**Tabla 6 Clasificación de los deslizamientos según su velocidad de movimiento (Cruden & Varnes, 1996)**

De acuerdo a la información presentada en la tabla anterior, correspondiente a la clasificación de los movimientos según su velocidad (Cruden & Varnes, 1996), los movimientos ocurridos en el macro-deslizamiento Guarumales son de carácter muy lento pues llegan hasta los 12cm/año (CELEC, 2013). La extensión del macro-deslizamiento es de aproximadamente 1,5 Km<sup>2</sup>.

Tanto de las observaciones de campo como de la investigación bibliográfica realizadas se desprende que la base de la secuencia lito estratigráfica del sitio estudiado corresponde a depósitos cretácicos constituido por rocas metamórficas pertenecientes al Grupo Alao-Paute correspondiente a la subdivisión superior Metavolcánicos de San Francisco. Sobre este afloramiento se encuentra asentado un depósito coluvial de grandes dimensiones que forma parte de lo que se conoce como el macro-deslizamiento de Guarumales constituido por esquistos cloríticos-cericíticos, micáceos, metavolcánicos y cuarcitas dentro de una matriz constituida por limos, arcillas y arenas limosas medianamente compactos. Las condiciones climatológicas favorecen la formación de depósitos arcillosos de gran potencia. (Vásconez, 2000)

Los registros de perforaciones revelan depósitos coluviales con potencias de hasta 45 a 55m, como se observa por ejemplo en los sondeos PEG-1 y PI-8 (López, 1995).





**Figura 10 Aceleraciones Máximas para un periodo de retorno de 475 años del austro del Ecuador. (Peñafiel, Regulación Sísmica y Actualización del Peligro Sísmico en el Austo Ecuatoriano, 2000)**

La acción erosiva del río Paute contribuye a la intensificación del deslizamiento en la parte inferior y progresivamente a la activación del deslizamiento desde la parte inferior a la superior (deslizamiento regresivo) (Vásconez, 2000)

Según la NEC, el sector se encuentra en la zona Sismogénica III, caracterizada por sismos profundos con eventos superficiales escasos. Con un factor  $Z = 0.3$ , que lo caracteriza con amenaza sísmica alta.

La figura 10 muestra el mapa de aceleraciones máximas para un periodo de retorno de 475 años obtenido de Pablo Peñafiel (Peñafiel, Regulación Sísmica y Actualización del Peligro Sísmico en el Austo Ecuatoriano, 2000).

En la figura 11 se aprecia el mapa de fallas que están cerca del sector. La ubicación del proyecto se encuentra a 17Km al este de la falla Gualaceo Paute, y a 68Km al oeste de la falla Santiago-Upano, siendo dos fallas reversas con movimientos menores a 1cm/año (USGS, 2003).

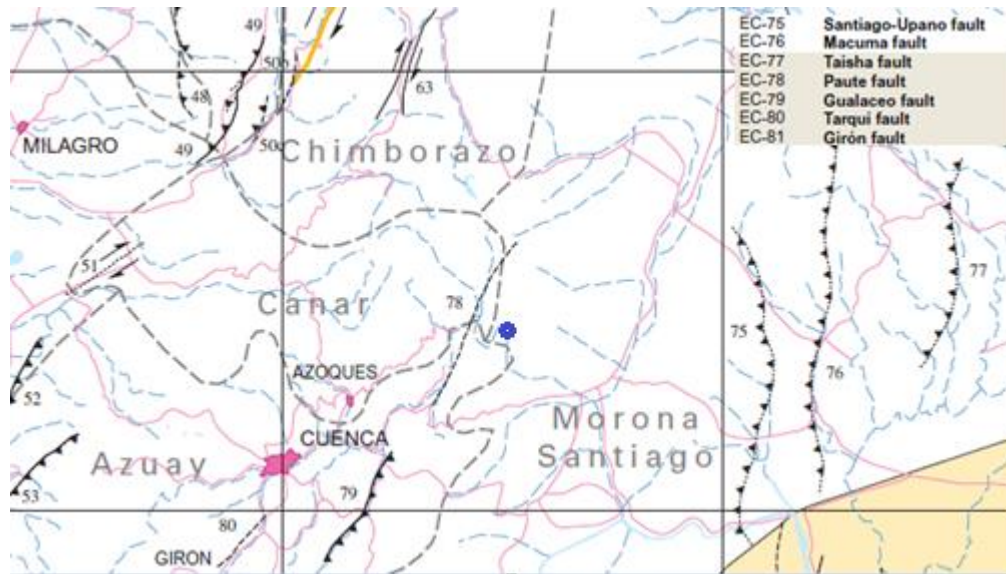


Figura 11 Mapa de fallas cercanas a la zona de estudio. En azul la ubicación del proyecto (USGS, 2003).

Adicionalmente, para el estudio de estabilidad de los taludes de la vía de acceso a la casa de máquinas se empleó un coeficiente sísmico de 0,15.

### 3.2.1 Ensayos de Nakamura

Se realizó 12 ensayos de Nakamura en la ladera para obtener las frecuencias fundamentales de la masa de suelo. Se los realizó a lo largo de una franja de 200 metros de ancho a lo largo de la sección central de la ladera. El enfoque se lo realizó en el lugar pues la dovela de análisis en el largo del macro-deslizamiento. En el Anexo 4 se pueden apreciar los reportes de los ensayos. El Anexo 5 muestra las curvas de la relación de aceleración horizontal y vertical (H/V) versus la frecuencia del terreno de los ensayos realizados.

La figura 12 muestra la ubicación de los ensayos así como la delimitación del área estudiada.

La tabla 7 muestra los puntos con las frecuencias naturales obtenidas del ensayo.

Punto	Ubicación (UTM)		Frecuencia (Hz)
	x	y	
1D	777981	9714193	12.1
2D	777804	9714298	8.4
3D	777742	9714476	4.1
4D	777605	9714635	1.8
5D	777482	9714782	2.2
6D	777406	9714905	1.5
2I	777721	9714195	9.4
3I	777640	9714356	9.1
4I	777504	9714502	9.6
5I	777352	9714661	2.1
6I	777301	9714820	2.4



Tabla 7 Resultados y ubicación de los ensayos de Nakamura realizados

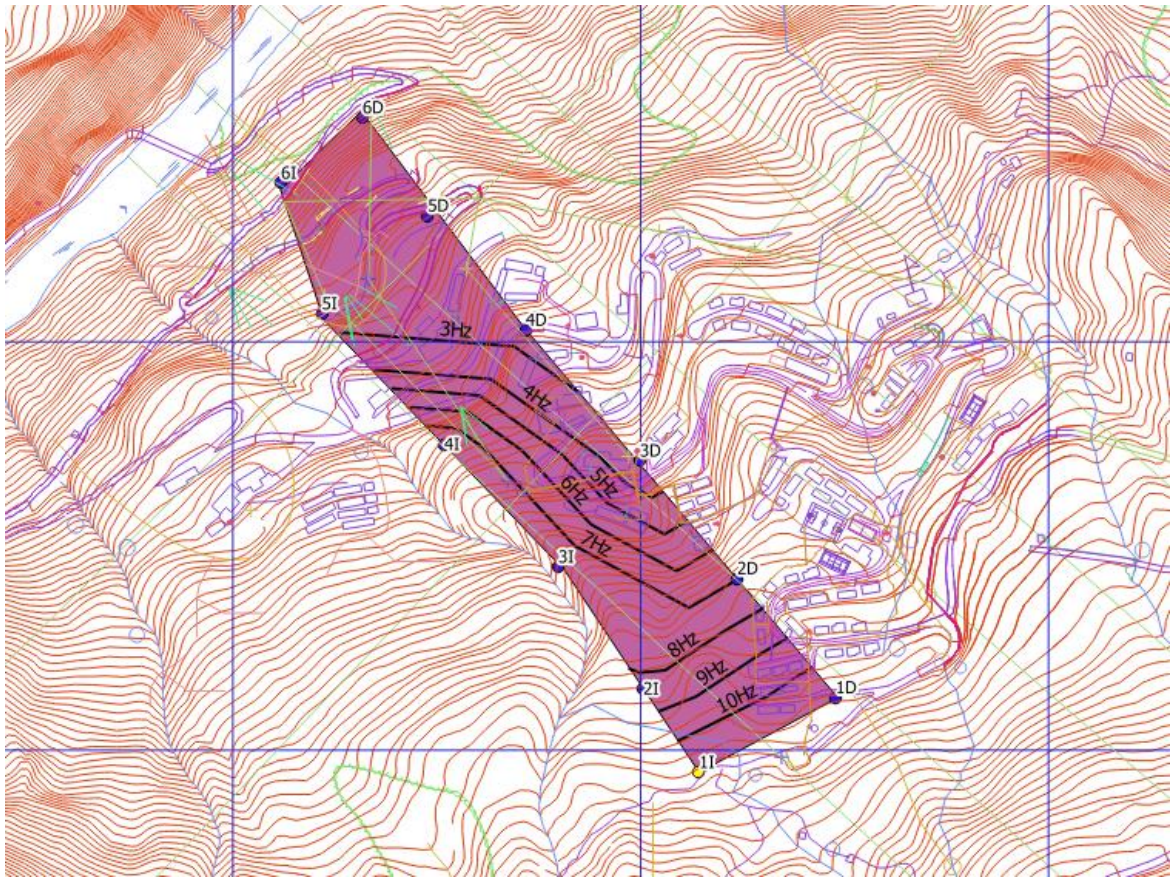


Figura 12 Curvas de frecuencias naturales en el Mapa del Campamento Guarumales.

### 3.2.2 Monitorización de inclinómetros

Se procesó la información de 8 inclinómetros instalados en la ladera en el periodo 2007-2016. La figura 9 muestra la ubicación de los inclinómetros. Los perfiles de los inclinómetros están en el Anexo 6.

### 3.2.3 Determinación de la superficie de falla

La superficie de falla se puede determinar empleando la información recogida de los inclinómetros, pues el punto en el que corta con el plano del deslizamiento presenta un salto en las lecturas del inclinómetros. Sin embargo los inclinómetros no están ubicados de forma colineal y están distribuidos en los 1,5 Km<sup>2</sup> del macro deslizamiento.

Basandose en (López, 1995) y (Vásconez, 2000), se estima que el plano de falla esta entre los 35m y 45m de profundidad en gran parte del deslizamiento. Adicionalmente en los registros de los inclinómetros PEG-03, PI-11 y PI-12 corroboran las conclusiones de los autores (Anexo 6). No es posible determinar un perfil debido a la falta de información.

### 3.2.4 Determinación de las frecuencias fundamentales de la franja de análisis del macro-deslizamiento.

Mediante interpolación lineal se obtiene el mapeo de frecuencias fundamentales de la franja central analizada. En la figura 12 se observa que en la parte alta del macro-deslizamiento (sur-oeste) la frecuencia llega hasta los 11 Hz, indica poca potencia del coluvio. Sin embargo a medida que el coluvio gana potencia y el deslizamiento se hace presente la frecuencia cae hasta los 2Hz en la zona más baja.

## 3.3 CÁLCULO DE AMENAZA SÍSMICA

### 3.3.1 Fuentes Sísmicas

La figura 13 muestra la zonificación sísmica superficial elaborada por Alejandra Alvarado (Alvarado, 2012). La tabla 8 presenta los nombres de las fuentes y su tipo de falla.

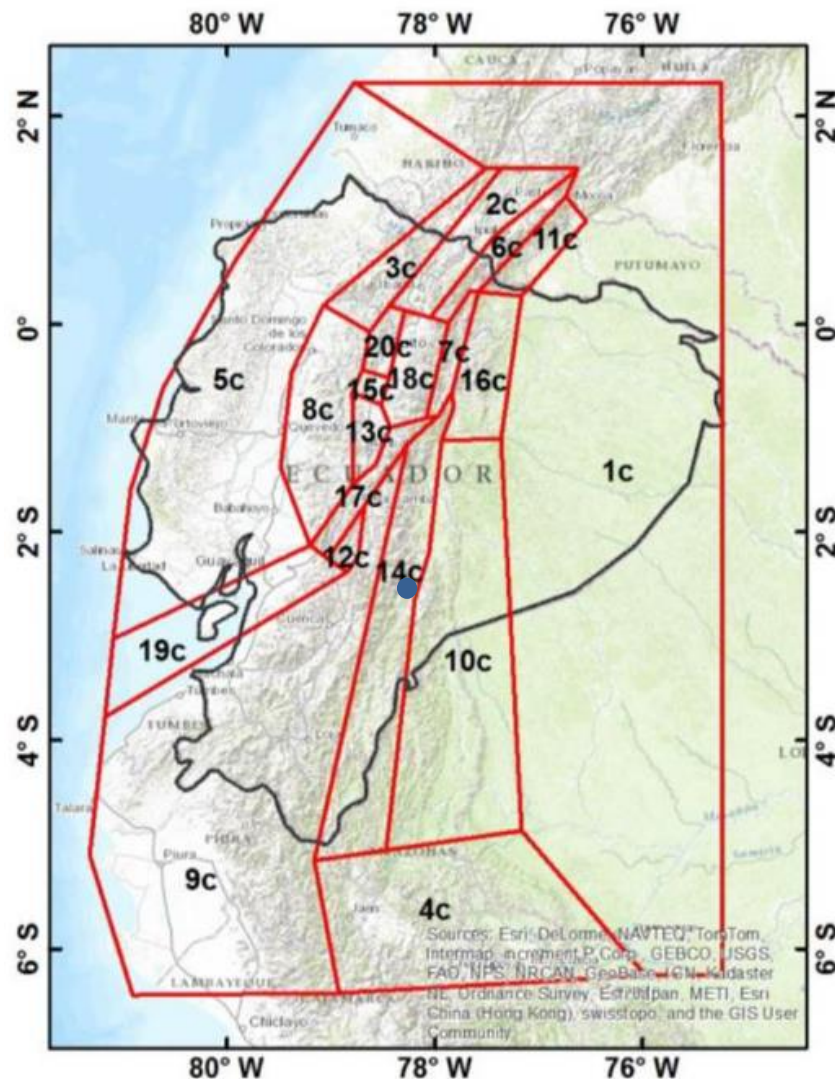


Figura 13 Fuentes sísmicas de tipo corticales del Ecuador (Alvarado,2012), en azul se muestra la ubicación del proyecto.



ID	Nombre	Tipo de falla
1c	Amazonas	Indeterminado
2c	El Ángel-San Gabriel	Inversa y normal
3c	Apuela-Huayrapungo	Normal
4c	Bagua	Inversa
5c	Canadé-San Lorenzo	Indeterminado
6c	Chingual	Normal
7c	Cofanés-Cosanga	Inversa
8c	Cordillera-Occidental	Indeterminado
9c	Cuenca Amotape	Indeterminado
10c	Cutucú	Inversa
11c	Sistema Frontal Este	Normal
12c	Guamote	Inversa y normal
13c	Latacunga	Inversa
14c	Macas	Inversa
15c	Machachi	Normal
16c	Napo	Inversa
17c	Pallatanga-Pisayambo	Normal
18c	Papallacta	Indeterminado
19c	Puná	Normal
20c	Quito	Inversa

Tabla 8 Fuentes sísmicas corticales y sus tipos de falla (Alvarado, 2012)

### 3.3.2 Obtención de parámetros de la Ley de Regresión de Gutenberg-Richter

Los parámetros de Gutenberg-Richter para poder determinar la amenaza sísmica se obtienen realizando regresiones del catálogo sísmico para cada zona.

El catálogo sísmico debe ser homogeneizado a la misma medida de magnitud, en este caso se empleó la Magnitud de Momento ( $M_w$ ). Esta magnitud es la más robusta y empleada en la actualidad debido a que no se satura (esta escala no está truncada a un valor máximo). (Kanks & Kanamori, 1979)

Se deben eliminar los eventos previos y réplicas de los catálogos, por lo que se debe realizar un *declustering* de los datos. Posterior a esto se determinan los parámetros mediante regresión múltiple. Los resultados se ven en la tabla 9 para las fuentes sísmicas estudiadas.

Zona	Profundidad (km)	Mc = Mmin	Mmaxobs	a	b
BAHIA - SMT2	0.00 - 35.00	4.00	7.3	4.986	-0.666
TALARA - SMT3	0.00 - 35.00	4.00	7.5	4.900	-0.621
SUB-BAHIA	35.00 - 50.00	4.00	5.8	5.939	-1.082
SUB-VOLCANIC ARC	35.00 - 180.00	4.00	7.3	4.462	-0.614
PUYO	130.00 - 250.00	4.00	7.5	5.640	-0.761
LORETO	130.00 - 180.00	4.00	6.5	4.064	-0.696
MORONA	100.00 - 130.00	4.00	7.5	5.229	-0.688
LOJA	35.00 - 100.00	4.00	7.1	6.348	-0.889
Zona 5C	0.00 - 40.00	4.00	7.3	4.974	-0.661
Zona 8C	0.00 - 40.00	4.00	7.8	1.987	-0.298
Zona 9C	0.00 - 40.00	4.00	7.5	4.872	-0.609
Zona 10C	0.00 - 40.00	4.00	7.3	5.015	-0.674
Zona 14C	0.00 - 40.00	4.00	7.5	3.576	-0.487
Zona 17C	0.00 - 40.00	4.00	7.0	3.756	-0.510
Zona 19C	0.00 - 40.00	4.00	7.1	4.233	-0.591

Tabla 9 Zonas sísmo tectónicas que influyen en el proyecto con los parámetros para la Relación de Gutenberg-Richter

Zona	Magnitud			
	5	6	7	8
BAHIA - SMT2	78.509%	95.454%	99.112%	99.901%
TALARA - SMT3	76.175%	94.401%	98.763%	99.806%
SUB-BAHIA	91.839%	99.443%	100.000%	100.000%
SUB-VOLCANIC ARC	75.813%	94.265%	98.756%	99.850%
PUYO	82.698%	97.027%	99.510%	99.940%
LORETO	80.148%	96.305%	99.562%	100.000%
MORONA	79.526%	95.850%	99.201%	99.888%
LOJA	87.095%	98.350%	99.804%	99.992%
Zona 5C	78.294%	95.364%	99.086%	99.898%
Zona 8C	51.320%	77.175%	90.201%	96.764%
Zona 9C	75.491%	94.080%	98.658%	99.785%
Zona 10C	78.904%	95.618%	99.158%	99.908%
Zona 14C	67.819%	89.900%	97.090%	99.430%
Zona 17C	69.683%	91.227%	97.888%	99.947%
Zona 19C	74.612%	93.747%	98.654%	99.913%

Tabla 10 Probabilidad de no excedencia de terremotos de diversa magnitud por zonas

### 3.3.3 Magnitudes máximas esperadas.

Para determinar la magnitud máxima esperada con el método probabilístico, se utiliza la ecuación 5 de la sección 2.2.1.1 empleando los parámetros obtenidos en la tabla 9. Esta ecuación nos da como resultado la probabilidad de un evento tenga magnitud menor o igual a la magnitud para la cual se calcula, es decir nos da la

probabilidad de no excedencia. La tabla 10 muestra la probabilidad de no excedencia anual para varias magnitudes en cada zona.

Las magnitudes de los eventos sísmicos con el período de retorno de cálculo (475 años) se ven en la tabla 11. Estos valores se obtienen de manera iterativa buscando la magnitud que tiene una probabilidad de ocurrencia correspondiente al período de retorno estudiado. Adicionalmente se indica la distancia a cada fuente sísmica.

Zona	Magnitud	Distancia (Km)
BAHIA - SMT2	7.22	339
TALARA - SMT3	7.42	312
SUB-BAHIA	5.83	231
SUB-VOLCANIC ARC	7.28	132
PUYO	7.18	79
LORETO	6.55	163
MORONA	7.32	10
LOJA	6.78	133
Zona 5C	7.23	108
Zona 8C	7.91	102
Zona 9C	7.44	61
Zona 10C	7.21	34
Zona 14C	7.55	7
Zona 17C	7.07	78
Zona 19C	7.13	56

Tabla 11 Magnitudes y Distancias de los eventos sísmicos para un periodo de retorno de 475 años.

Zona	MHA (g)
BAHIA - SMT2	0.01
TALARA - SMT3	0.02
SUB-BAHIA	0.01
SUB-VOLCANIC ARC	0.05
PUYO	0.05
LORETO	0.01
MORONA	0.10
LOJA	0.04
Zona 5C	0.07
Zona 8C	0.11
Zona 9C	0.15
Zona 10C	0.04
Zona 14C	0.26
Zona 17C	0.08
Zona 19C	0.13

Tabla 12 Aceleraciones máximas esperadas usando la ecuación de atenuación de Cornell (Ecuación 9).

### 3.3.4 Aceleraciones máximas esperadas.

Empleando la ecuación de atenuación de Cornell (Ecuación 9), con las magnitudes y distancias determinadas en la tabla 11, se obtiene la aceleración del sitio. La tabla 12 muestra las aceleraciones máximas esperadas (MHA).

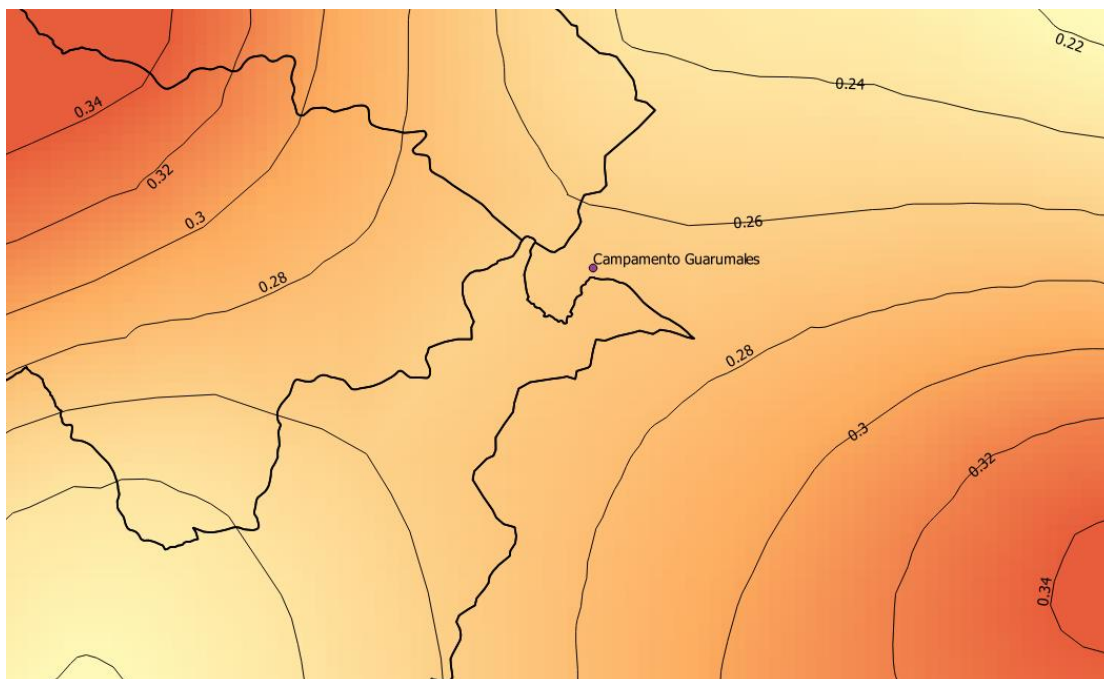


Figura 13 Ubicación del Campamento Guarumales en el mapa de aceleraciones máximas esperadas (Peñafiel, Regulación Sísmica y Actualización del Peligro Sísmico en el Austo Ecuatoriano, 2000)

### 3.4 DETERMINACION DE PARAMETROS DE MOVIMIENTO DE TERRENO

Los parámetros de movimiento sísmico que se requieren para la determinación del coeficiente sísmico ( $k$ ) son la Aceleración máxima esperada (MHA) del sitio, la duración de la fase fuerte del sismo ( $D_{5-95}$ ) y el periodo medio del sismo ( $T_m$ ). Estos parámetros están en función de la magnitud, distancia y la condición de sitio.

Las aceleraciones máximas esperadas serán las determinadas en la sección 3.3.4. como se muestra en la tabla 12.

La duración de la fase fuerte del sismo ( $D_{5-95}$ ) se define como el tiempo en el cual se libera el 90% de la energía del sismo. Más específicamente es el tiempo que transcurre entre la liberación del 5% al 95% de la Intensidad Sísmica Instrumental.

El periodo medio del sismo ( $T_m$ ) se define como el inverso del promedio ponderado de las frecuencias del acelerograma, donde los pesos de ponderación son las amplitudes del espectro de Fourier en los rangos de frecuencia entre 0,5 Hz a 20Hz.

Tanto  $D_{5-95}$  como  $T_m$  pueden determinarse mediante ecuaciones de regresión a partir de un catálogo sísmico lo suficientemente extenso. Sin embargo el LAMD permite que se utilicen valores medios que se pueden estimar con las ecuaciones 16.a, 16.b (Abrahanson y Silva, 1996) y las ecuaciones 17.a y 17.b (Rathje et al, 1998).



Para  $r > 10\text{Km}$ .

$$(D_{5-95})_{med} = 2.33 \cdot \left[ \frac{\left( \frac{\exp(6.204 + 0.851 \cdot (M-6))}{10^{1.5M+16.05}} \right)^{-1/3}}{15.7 \cdot 10^6} + 0.805 \cdot S + 0.063 \cdot (r-10) \right] \quad (16.a)$$

Para  $r < 10\text{Km}$

$$(D_{5-95})_{med} = 2.33 \cdot \left[ \frac{\left( \frac{\exp(5.204 + 0.851 \cdot (M-6))}{10^{1.5M+16.05}} \right)^{-1/3}}{15.7 \cdot 10^6} + 0.805 \cdot S \right] \quad (16.b)$$

donde M es la magnitud, R es el radio y S es la condición de sitio (S=0 para roca y S=1 para suelo). El error estándar es de 0.565

$$T_m = C_1 + C_2 \cdot (M-6) + C_3 \cdot R \quad M \leq 7.25 \quad (17.a)$$

$$T_m = C_1 + 1.25 \cdot C_2 + C_3 \cdot R \quad 7.25 \leq M \leq 8.0 \quad (17.b)$$

Donde los parámetros  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  deben seleccionarse según la tabla 13. Las recomendaciones del LAMD recomiendan usar las condiciones de roca para determinar este parámetro. Adicionalmente se indica el error estándar para cada condición de sitio.

Sites	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$\epsilon_T$
$T_m$ , rock	0.411	0.0837	0.00208	0.437
$T_m$ , soil	0.519	0.0837	0.00190	0.350

Tabla 13 Parámetros para determinar el periodo medio del sismo según la condición de sitio. (Rathje, Abrahamson, & Bray, 1998)

Empleando las magnitudes y distancias determinadas en la sección 3.3.3 que se muestran en la tabla 11 y considerando la condición de sitio como roca (como indica la guía técnica) en la ecuaciones 16.a, 16.b, 17.a y 17.b se determina los valores de los parámetros de movimiento de terreno  $D_{5-95}$  y  $T_m$ .

La tabla 13 muestra los resultados de los parámetros  $D_{5-95}$  y  $T_m$  para cada zona sísmica.

Zona	D5-95 (sg)	Tm (sg)
BAHIA - SMT2	50.17	1.22
TALARA - SMT3	46.21	1.16
SUB-BAHIA	34.32	0.89
SUB-VOLCANIC ARC	19.78	0.79
PUYO	12.00	0.68
LORETO	24.33	0.81
MORONA	1.88	0.54
LOJA	19.93	0.76
Zona 5C	16.26	0.74
Zona 8C	15.38	0.73
Zona 9C	9.36	0.64
Zona 10C	5.40	0.59
Zona 14C	1.88	0.53
Zona 17C	11.86	0.68
Zona 19C	8.63	0.63

Tabla 14 Parámetros de movimiento de terreno  $D_{5-95}$  y  $T_m$

### 3.5 DETERMINACION DEL FACTOR DE SISMICIDAD (f).

El LAMD recomienda determinar el porcentaje de la MHA que se considera para el coeficiente sísmico (f) con el método propuesto por Stewart et al (Steward, Blake, & Hollongsworth, 2002) Quien planteo la Ecuación 18. Esta ecuación está representada en la figura 5 en la sección 2.3.4.

$$f_{eq} = \frac{NRF}{3.477} \times \left[ 1.87 - \log_{10} \left( \frac{u}{(MHA_r / g) \times NRF \times D_{5-95}} \right) \right] \quad (18)$$

Donde u es el desplazamiento admisible de la ladera en cm, NRF es el factor de respuesta no lineal debido a la comportamiento no lineal del suelo al propagar ondas de corte en la masa de suelo ( Bray, Rathje, Augello, & Merry, 1998),  $D_{5-95}$  es la duración de la fase fuerte del sismo,  $MHA_r$  es la máxima aceleración esperada para una condición de sitio de roca y g es la aceleración de la gravedad.

El valor del NRF se puede tomar igual a 1 si el estrato de suelo es menor a 20m de potencia. En este caso que el coluvio es considerablemente mayor el valor se puede aproximar a:

$$NRF \approx 0.6225 + 0.9196 \times \exp \left( \frac{-MHA_r / g}{0.4449} \right) \quad (19)$$

Para  $MHA_r$  entre el 10% y el 80% de la gravedad.

Calculando para los dos niveles de desempeño ( $u=5\text{cm}$  y  $u=15\text{cm}$ ) se tiene la tabla 14 con los resultados para  $f_{eq}$ . Se han eliminado las fuentes con una aceleración menor al  $0,1g$  debido que están fuera del rango de aplicación de las ecuaciones y al tratarse de aceleraciones pequeñas no inciden en el estudio. No se tienen aceleraciones mayores a  $0,8g$  por lo que se pueden aplicar la ecuación 19. Para obtener los valores de  $f_{eq}$  en la tabla 14.

Los valores de  $k$  para cada zona sísmica se obtienen con la ecuación 12, usando los valores de  $f_{eq}$  (tabla 14) y MHA (tabla 13) correspondientes.

Zona	u = 5cm		u = 15cm	
	$f_{eq}$	k	$f_{eq}$	k
<b>Zona 8C</b>	0.771	0.089	0.588	0.068
<b>Zona 9C</b>	0.701	0.103	0.525	0.077
<b>Zona 14C</b>	0.652	0.171	0.497	0.131
<b>Zona 19C</b>	0.663	0.088	0.484	0.065

Tabla 15 Factores de participación y coeficientes sísmicos para umbrales de desplazamiento de 5cm y 15cm.

## CAPITULO 4 - INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la tabla 15 se muestran dos coeficientes sísmicos para las zonas sísmicas con mayor influencia en el emplazamiento del proyecto. El coeficiente sísmico más alto se encuentra en la zona 14C para ambos umbrales de desplazamiento admitido.

El coeficiente sísmico a emplear en un análisis de estabilidad pseudoestático es de 0,171 y 0,131 según se permita un desplazamiento de 5cm o de 15cm respectivamente. El presente recomienda utilizar 0.131 correspondiente para un desplazamiento de 15cm debido a que se trata de una ladera que, según los informes de monitorización anual de CELEC, ya está sujeta a un desplazamiento anual en ese rango de valores. Los valores del coeficiente sísmico varían entre un 30% a 35% según se elija un desplazamiento admisible de 5cm o de 15cm.

Como se expuso en la sección 3.2 la estabilización de los taludes de la vía de acceso a la casa de máquinas se realizó con el método pseudoestático, empleando un coeficiente sísmico de 0,15. El coeficiente sísmico propuesto de 0,131, representaría una reducción de un 12,7% con respecto al empleado anteriormente. En caso de restringir a un nivel de desempeño correspondiente a un desplazamiento de 5cm, el valor del coeficiente sísmico aumentaría en un 14,0%.

En la tabla 15 se puede apreciar que los valores de  $f_{eq}$  de fuentes más lejanas son mayores. Esto se debe a los efectos de atenuación que incrementan el periodo medio del sismo y por lo tanto la duración. Estos parámetros afectan en la determinación del factor  $f_{eq}$  incrementando su valor. Sin embargo, el valor de MHA disminuye a una tasa mucho mayor que  $f_{eq}$  con la distancia.

## CONCLUSIONES

El método propuesto por el Grupo de Geotecnia de la División de Los Ángeles de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles permite asociar los parámetros de movimiento de terreno con el coeficiente sísmico, lo cual reduce las incertidumbres existentes en la determinación del coeficiente sísmico.

La determinación de frecuencias fundamentales de una masa de terreno es uno de los principales factores que describen el comportamiento dinámico de manera experimental. En la figura 12 se aprecia la distribución de frecuencias fundamentales, su variación evidencia el aumento de potencia del coluvio a medida que se baja en la ladera.

Las principales fuentes de amenaza sísmica para el proyecto se ubican en la zona 14C, según la zonificación sísmica de Alvarado (Figura 13). Las fallas Gualaceo-Paute y Santiago-Upano son las más cercanas a Guarumales, ambas son fallas inversas con desplazamiento menor a un centímetro por año (Mapa 2)

El coeficiente sísmico para estudios de estabilidad en el macro-deslizamiento Guarumales determinado es de 0,131. Este coeficiente está asociado a un desplazamiento tolerable, que se definió en 15cm debido a que la ladera ya presenta desplazamientos en ese rango.

## RECOMENDACIONES

El método recomendado por LAMD puede ser aplicado en proyectos que requieren realizar estudios de amenaza sísmica, aprovechando sus resultados para reducir la incertidumbre sobre los parámetros para evaluar la estabilidad de laderas y taludes que sean parte del proyecto.

Mediciones de micro trepidaciones, por ejemplo mediante el método de Nakamura, permite no solo obtener las frecuencias naturales del suelo, sino también puede determinar factores de comportamiento no lineal e indirectamente obtener los cambios de estrato. Los procedimientos son sencillos y poco costosos, se recomienda hacer mayor uso de estos procedimientos para estudios de laderas inestables.

La realidad tectónica del Ecuador en una región de alta sismicidad lo hace vulnerable tanto a actividad sísmica de intensidad alta como a deslizamientos. Por tanto, la política de CELEC EP de mantener planes continuos de monitorización y control de laderas inestables es muy recomendada y pertinente que se extienda y aplique en otros proyectos del país.

En el presente trabajo no se estudió el potencial de licuación de la masa de suelo. Los suelos propensos a licuación según Wang (Wang, 1979) son aquellos compuestos de limos y arcillas con un límite líquido menor al 35% y con cantidad de finos que pasan el tamiz 200 menor al 15%. Dichas condiciones que no se producen en la cordillera de los Andes.



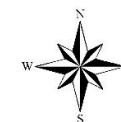
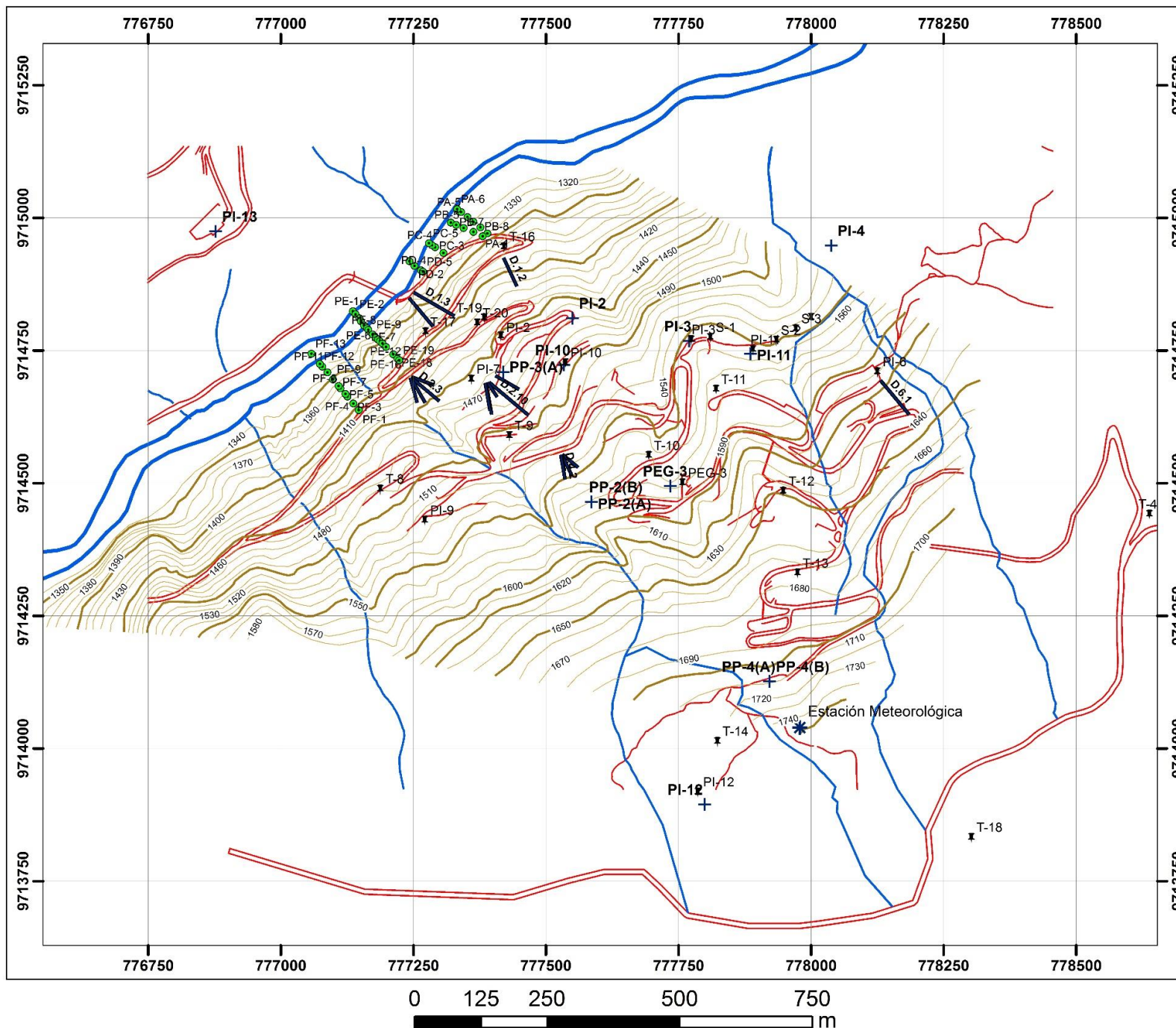
## Bibliografía

- Abrahamson, N., & Silva, W. (1996). *Empirical ground motion models*. New York, EEUU: Brookhaven National Laboratory.
- Alvarado, A. (2012). *Neotectonique et cinématique de la déformation continental en Equateur*. Grenoble, Francia: Institut des Sciences de la Terre de Grenoble.
- Baker, J. (2008). *An Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*. EEUU: US Nuclear Regulatory Commission.
- Baker, R., Shukha, R., Operstein, O., & Frydman, S. (2006). Stability charts for pseudo-static slope stability analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 813-823.
- Bray, J., & Rathje, E. (1998). Earthquake-induced displacements of solid-waste landfills. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 242-253.
- Bray, J., Rathje, E., Augello, A., & Merry, S. (1998). Simplified seismic design procedure for geosynthetic-lined, solid waste landfills. *Geosynthetics International*, 203-235.
- CELEC. (2013). *Informe de Monitorización Anual de Ladera Guarumales 2012*. Ecuador.
- Committee, A. L. (2002). *Guidelines for Analyzing and Mitigating Landslide Hazards in California. (LAMC)*. Los Angeles, EEUU: Southern California Earthquake Center.
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996). Landslide types and processes. *Transportation Research Board Special Report*, 36-75.
- Gutenberg, R., & Richter, C. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 185-188.
- Jibson, R. (2011). Methods for assessing the stability of slopes during earthquakes-A retrospective. *Engineering Geology*, 43-50.
- Kanamori, T., & Kanamori, H. (1979). Moment Magnitude Scale. *Journal of Geophysical Research*, 2348-2350.
- Keefer, D. (1984). Landslides caused by earthquake. *Bulletin of the Geological Society of America*, 406-421.
- Kramer, S. (s.f.). *Geotechnical Earthquake Engineering*. New Jersey, EEUU: Prentice Hall.

- López, M. (1995). *Estudio Geológico-Geotécnico del macro deslizamiento Guarumales*. Quito, Ecuador: Tesis para obtención del Título de Ingeniero en Geología de la Universidad Central del Ecuador.
- Makdisi, F., & Seed, H. (1978). Simplified Procedure for estimating dam and embankment earthquake-induced deformations. *Journal of Geotechnical Engineering*, 849-967.
- Martin, G., & Lew, M. (1999). *Guidelines for Analysing and Mitigating Liquefaction Hazards in California*. Los Angeles, EEUU: Southern California Earthquake Center.
- Melo, C., & Sharma, S. (2004). Seismic coefficients for pseudostatic slope analysis. *13 World Conference of Earthquake Engineering*, 369.
- Peñafiel, P. (2000). *Regulación Sísmica y Actualización del Peligro Sísmico en el Ato Ecuatoriano*. Cuenca, Ecuador: Tesis de grado para obtención del Título de Ingeniero Civil de la Universidad de Cuenca.
- Rathje, E., Abrahamson, N., & Bray, J. (1998). Simplified frequency content estimates of earthquake ground motions. *Journal of Geotechnical Engineering*, 150-159.
- Seed, H. (1979). Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes. *Journal of Geotechnical Engineering*, 201-255.
- Steward, J., Blake, T., & Hollingsworth, R. (2002). Development of a Screen Analysis Procedure for Seismic Slope Stability. *Earthquake Spectra*.
- USGS, U. S. (2003). *Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarios de Ecuador y Regiones Oceanicas Adyacentes*. Colorado-EEUU: USGS.
- Vásconez, F. (2000). *Análisis de Peligrosidad de Grandes Deslizamientos en la República del Ecuador con el caso-ejemplo Guarumales*. Maguncia, Alemania: tesis para obtención del grado de Doctor en Ciencias de la Universidad Johannes Gutenberg.
- Wang, W. (1979). *Some findings in soil liquefaction*. Beijing, China: Instituto de Investigación Científica para la Conservación del Agua y la Energía Hidroeléctrica.

## **ANEXO 1**

Mapa temático de la zona con ubicación de instrumentación



## Símbolos Cartográficos

- \* Estación Meteorológica
- Perfiles topográficos
- ✕ Pilas topográficas
- + Piezómetros e inclinómetros
- Drenes profundos
- Vías
- Río Paute
- Quebradas
- Curvas de nivel**
- Principal
- Secundaria

PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA  
WGS\_1984\_UTM\_Zone\_17S

Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC E.P. Unidad de Negocio HIDROPAUTE			
Macrodiseñamiento Guarumales - Instrumentación			
Elab. Por:	Rev. Por:	Aprob. Por:	Escala:
X. Robles	R. Villalón	D. Vázquez	1:10,000

## **ANEXO 2**

Registros de perforaciones





DIVISION DE INGENIERIA  
GEOTECNICA

INVESTIGACIONES: PERFORACIONES  
REGISTRO DE SONDEO EN ROCA

SITIO CUARUMALES SONDEO PP-1 COORDENADAS: N E COTA 1150.00 m  
SONDA LONGYEAR 39 PROFUNDIDAD 53.50 m DIRECCION 0° de la vert.  
JEFE DE SONDEO J. Villarreal FECHA INICIACION 24/03/94 FECHA TERMINACION 11/04/94  
Registrado por L. J. Revisado por Aprobado por

Firmas:

PROFUNDIDAD (m)	AVANCE (m)	REGISTRO GEOLOGICO	RECUPERACION DE TESTIGO (%)	ALTERACION	REGISTRO DE FRACATURAS	PROFUNDIDAD TECNICA	PIEZOMETROS	RECUPERACION DE TESTIGO (%)	ENSAYOS DE PERMEABILIDAD
0.00		SIMBOLOGIA							
0.00		USORRECCION							
53.50		ESQUISITOS GRAFICOS CON PRESENCIA DE VETAS DE CUARZO LECHOSO, FRACATURAS CON CAIDO Y ARCILLA SUBHORIZONTALES.				35.65 11/04/94			
FIN DEL SONDEO									

LEYENDA

ALTERACION (A)
1. ROCA SANA
2. ROCA POCO ALTERADA
3. ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA
4. ROCA MUY ALTERADA
5. ROCA TOTALMENTE ALTERADA

FRACATURACION (F)
1. ROCA MACIZA
2. ROCA FRACATURADA
3. ROCA CON FRACATURAS 5-10
4. ROCA EXTENSIVAMENTE FRACURADA 11-20
5. ROCA ENAGUAMENTADA > 20

OBSERVACIONES

EL ANGULO DE LAS FRACATURAS ES NORMAL A LA HORIZONTAL Y CORRESPONDE AL VALOR MEDIO EN ESE TRAMO

PROYECTO-PAUTE  
DESPLIZAMIENTO-CUARUMALES  
PIEZOMETRO PP-1  
HOJA 1 de 2 ESC: 1:100  
Ing. L. Jarrin  
S.A.C.  
Noviembre/94

NOTA: SI BIEN SE PRESENTAN VALORES DE RQD, ALTERACION E INDICE DE FRACATURACION, SE ESTIMA QUE ESTE SONDEO NO ALCANZO EL CONTACTO COLUMAL-ROCA



DIVISION OF REVENUE

611

— 2 —

COPIES

WILLIAM O'S

FECHA TERMINACION 11/04/94

Approved For Release

2006-07-01

RECUERDOS DE REPERTEUR  
TIPIC LUSOON

VIGORAMA  
AL. SANCHEZ GARCIA  
INDUSTRIAS  
LUCERO

CAPES DE  
MEMOR

RECUPERACION  
% - 100.00  
NO. 98-68808

PIZONES

A  
B

PISTOLAS  
MUNDO  
V.A.C.

FRACATURAS  
DE  
REGISTRO  
A. LEONACION

DE  
ESTADO

REGISTRATION  
DE

ОБЪЕДИНЕНИЕ

-0-0 CANTOS RODADOS DE 3-5  
-0-0 cm DE DIAMETRO DE ES-  
-0-0 QUISTOS GRAFICOS, NO SE  
-0-0 RECUPERA LA MATRIZ

25/03/94:

10

2



202

22

30

14.40m  
30/03/94

FRAGMENTOS DE ESQUISTOS  
VERDES COMPLETAMENTE  
ALTERADOS, FRAGMENTOS  
DE CUARZO LECHOSO GRAVA  
ARENA

FRAGMENTOS DE ESQUISTOS  
MICACEOS, SERICITICOS, CLORITICOS, CUARZO LECHOSO  
OXIDADO, PRESENCIA DE  
ARCILLA.

AS FRACTURAS ESTAN ALTAMENTE OXIDADAS

ESQUISITOS VERDES CON VENTILADOR  
TAS DE CUARZO ALTAMENTE  
OXIDADOS

FRAGMENTOS DE ESQUISTOS  
MICACEOS, SERICITICOS, CLORITICOS, CUARZO LECHOSO  
OXIDADO, PRESENCIA DE  
ARCILLA.

FRAGMENTOS DE ESQUISTOS  
VERDES COMPLETAMENTE  
ALTERADOS, FRAGMENTOS  
DE CUARZO LECHOSO GRAVA  
ARENA

REVESTIMIENTO NW

ROTACION Ø NO

LEYENDA

ALTERACION	1	2	3	4	5
ROCA SANA	PA	MA	TA	TA	TA
ROCA ROCA ALTERADA					
ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA					
ROCA MUY ALTERADA					
ROCA TOTALMENTE ALTERADA					

OBSERVACIONES

INSTITUTO VENEZOLANO DE ELECTRICIDAD

PROYECTO PAUTE

DESlizamiento GUARUMALES

PIEZOMETRO PP-1

HORA DE 2

Ing. J. Robles

B. M. C.

OCTUBRE/94

ESCALA: 1:100

NOTA: SI BIEN SE PRESENTA VALORES DE 100, ALTERACION E INDICE DE FRACTURAMIENTO (BLOQUES METRICOS) SE ESTIMA QUE ESTE SONDEO NO ALCANZO EL CONTACTO COLUVIAL-ROCA

ESQUISTOS GRAFICOS

FRACTURACION (F)	1	2	3	4	5
ROCA MACIZA					
ROCA FRACTURADA					
ROCA MUY FRACTURADA					
ROCA EXTREMADAMENTE FRACTURADA					
ROCA FRAGMENTADA					

Q D D (%)	1	2	3	4	5
EXCELENTE					
BUENA					
REGULAR					
MALA					
PEOR					

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

ESQUISTOS GRAFICOS

13.61m

29/03/94

14.40m

30/03/94

SECO

07/04/94

SECO

08/04/94

35.93m

09/04/94

35.40m

10/04/94

35.65m

FRAGMENTOS DE ESQUISTOS MICACEOS, SERICITICOS, CLG RITICOS, CUARZO LECHOSO OXIDADO, PRESENCIA DE ARCILLA

FRAGMENTOS DE ESQUISTOS VERDES COMPLETAMENTE ALTERADOS, FRAGMENTOS DE CUARZO LECHOSO GRAVA ARENA

ESQUISTO MICACEO SERICITICO CON VETAS DE CUARZO LECHOSO CUARCITA EN VETAS DE CUARZO LECHOSO

FRACTURAS RELLENAS OXIDO Y ARCILLA

ESQUISTO SERPENTINO FRACTURAS RELLENAS DE OXIDO Y ARCILLA





INSTITUTO DE INGENIERIA  
CIVIL TECNICA

INVESTIGACIONES: PERFORACIONES

## REGISTRO DE SONDEO EN

SITIO DESLIZAMIENTO GUARUMALES SONDEO PI-1

SONDA LONGYEAR 38

COORDENADAS N E COTA

DIRECCION

INCLINACION

JEFE DE SONDEO J.V.-F.B.

PROFUNDIDAD 58.05

FECHA INICIACION 28/04/94

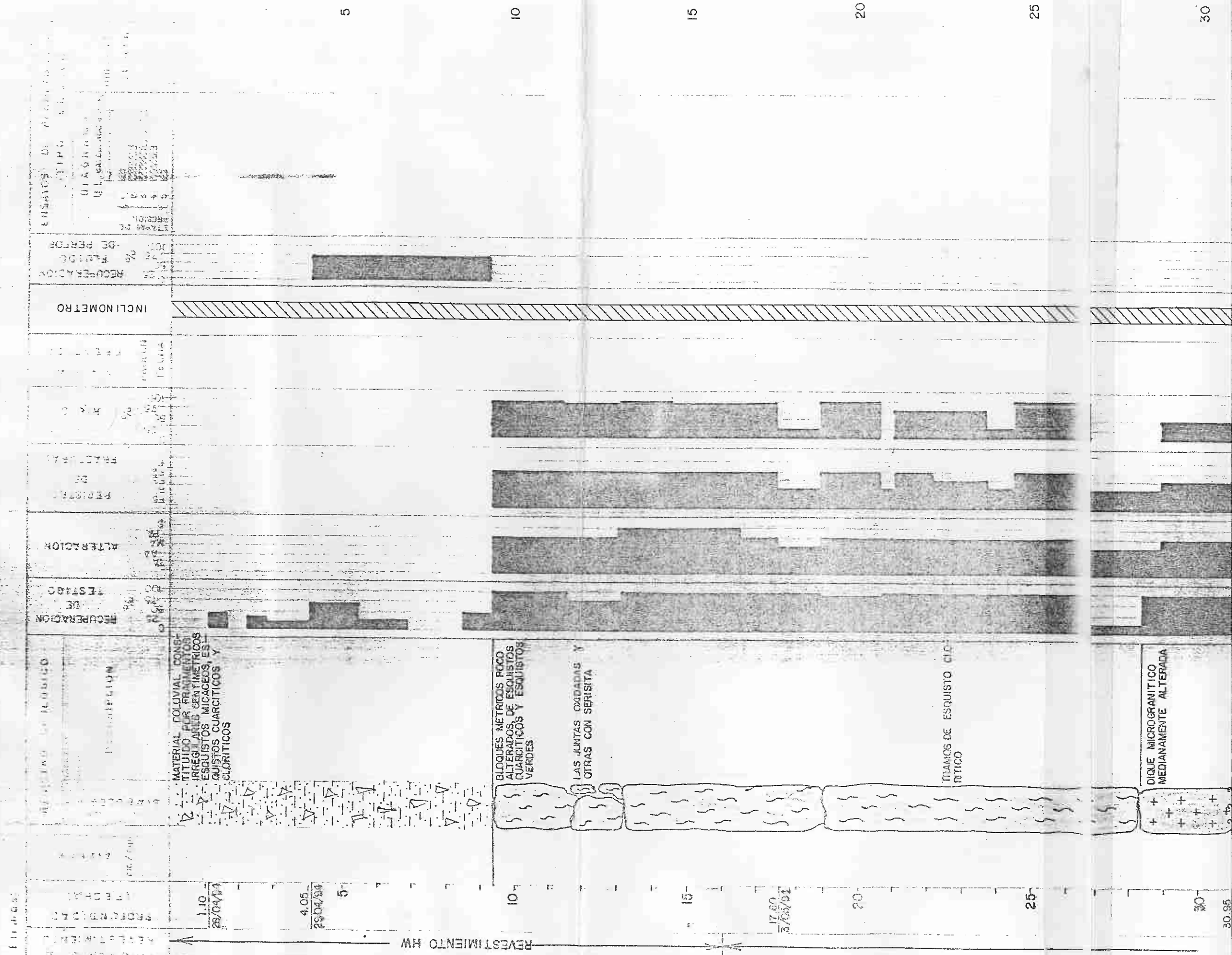
FECHA TERMINACION 07/05/94

Registrado por Ing. F. Naranjo

Revisado por:

Elaborado por:

1 de 2



25

TRAMOS DE ESQUISTO CIO  
RITICO

25

30

30.95  
04/15/94

30

DIQUE MICROGRANITICO  
MEDIANAMENTE ALTERADA

ESQUISTO MICACEO CON  
VETAS DE CUARZO, ALTER  
NADO CON ESQUISTOS VER  
DES, CLORITICOS Y QUAR  
CITICOS

30

35

35

REVESTIMIENTO N W

40

40

ROTACION A D

45

44.80  
05/05/94

35.56  
06/05/94

45

50

50

PRACIT UNACION

1	ROCA MASIZA
2	ROCA FRAGMENTADA
3	ROCA MUY FRAGMENTADA
4	ROCA EXTREMAMENTE FRAGMENTADA
5	ROCA FRAGMENTADA

1	ROCA MASIZA
2	ROCA FRAGMENTADA
3	ROCA MUY FRAGMENTADA
4	ROCA EXTREMAMENTE FRAGMENTADA
5	ROCA FRAGMENTADA

1	ROCA MASIZA
2	ROCA FRAGMENTADA
3	ROCA MUY FRAGMENTADA
4	ROCA EXTREMAMENTE FRAGMENTADA
5	ROCA FRAGMENTADA

NOTA : SI BIEN SE PRESENTA VALORES DE RQD, ALTERACION E INDICE DE FRACTURAMIENTO, (BLOQUES METRICOS)  
SE ESTIMA QUE ESTE SONDEO NO ALCANZO EL CONTACTO COLUVIAL-ROCA

PROYECTO PAUTE  
DESPLAZAMIENTO CUARUMALES  
INCLINOMETRO PI-1  
R.N.F.  
S.M.C.

AGOSTO/94



DIVISION DE INGENIERIA  
GEOTECNICA

INVESTIGACIONES: PERFORACIONES

# REGISTRO DE SONDEO EN ROCA

SITIO SECTOR LA "Y"

PI-7

SONDEO COORDENADAS: N E COTA m.s.n.m.

SONDA LONGYEAR - 38

PROFUNDIDAD 100.0 m DIRECCION

INCLINACION 0° de la vert.

JEFE DE SONDEO J. Villarreal

FECHA INICIACION 08/10/94

FECHA TERMINACION 05/11/94

Registrado por Ings. F.N./B.V.

Revisado por

Aprobado por

Hoja 2de2

Firmas:

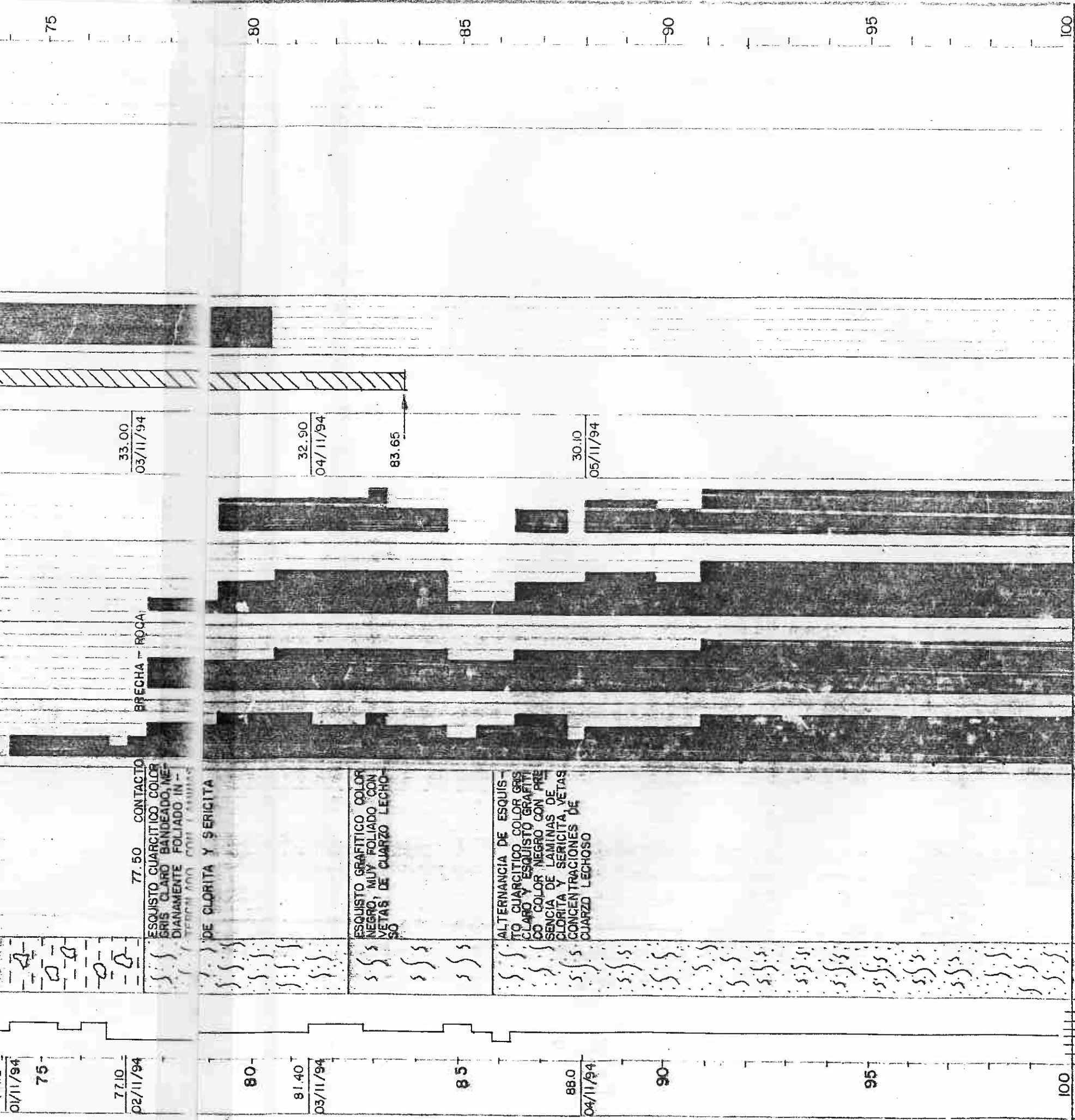
PROFUNDIDAD (m)	REVESTIMIENTO	SECCION Cm/Inch	REGISTRO GEOLOGICO		RECUPERACION DE TESTIGO %	ALTERACION DE TESTIGO %	REGISTRO DE TESTIGO %	INCLINOMETRO %	RECUPERACION DE TESTIGO %	PROFUNDIDAD m	FECHA	ENSAYOS DE PERMEABILIDAD	
			SIMBOLOGIA	DESCRIPCION								TIPO	DIAGRAMA
53.80	28/10/94	0 4 8		COLUVIAL COMPUESTO POR FRAGMENTOS ANGULARES METALOSOS A 1 m DE DIAMETRO DE ESQUISTO COLOR GRIS CON CUARZO CLORITA, SERICITA, SULFUROS Y MATRIZ LIMOSA DE COLOR GRIS A GRIS AMARILLENTO	0	0	0	0	0	28.75	29/10/94	U.L. CALCULADO a 10 cm	U.L. CALCULADO a 10 cm
61.65	29/10/94			PREDOMINIO DE FRAGMENTOS DE PASTA 0.50 m DE DIAMETRO DE COLOR GRIS CLARO CON CUARZO CLORITA, SERICITA, SULFUROS Y CUARZO LECHOZO MATRIZ LIMOSA DE COLOR GRIS AMARILLENTO	0	0	0	0	0	28.80	30/10/94	U.L. CALCULADO a 10 cm	U.L. CALCULADO a 10 cm
65.45	30/10/94			BRECHA DE FALLA CON PREDOMINIO DE LIMO COLOR GRIS VERDOSO MUY PLASTICO CON PRESENCIA DE SULFUROS, GRAVAS Y FRAGMENTOS SUBANGULOSOS METALOSOS A 20 cm DE DIAMETRO	0	0	0	0	0	26.15	31/10/94	U.L. CALCULADO a 10 cm	U.L. CALCULADO a 10 cm
74.15	01/11/94			BRECHA DE FALLA CON PREDOMINIO DE LIMO DE COLOR NEGRO CON GRANOS Y FRAGMENTOS ANGULOSOS DE ESQUISTO GRAFITICO	0	0	0	0	0	32.24	01/11/94	U.L. CALCULADO a 10 cm	U.L. CALCULADO a 10 cm
77.10	02/11/94			CONTACTO ESQUISTO CUARCITICO COLOR GRIS CLARO BANDEADO, METALOSAMENTE FOLIADO IN-TERVALADO CON LAMINAS DE CLORITA Y SERICITA	0	0	0	0	0	33.00	03/11/94	U.L. CALCULADO a 10 cm	U.L. CALCULADO a 10 cm

REVESTIMIENTO 0 N W

BRECHA - ROCA

DE CLORITA Y SERICITA

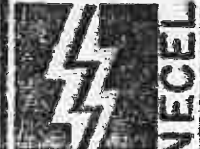




FRACTURACION (F)		ROCA (R)	
1	ROCA MACIZA	1	ROCA MACIZA
2	ROCA FRACTURADA	2	ROCA FRACTURADA
3	ROCA MUY FRACTURADA	3	ROCA MUY FRACTURADA
4	ROCA EXTREMAMENTE FRACTURADA	4	ROCA EXTREMAMENTE FRACTURADA
5	ROCA FRAGMENTADA	5	ROCA FRAGMENTADA

OBSERVACIONES: EL ANGULO DE LAS FRACTURAS ES DESDE 45° A 60° EN EL PLANO HORIZONTAL Y CORRESPONDE A LAS DICHAS SUBCORTES EN ESE TRAMO





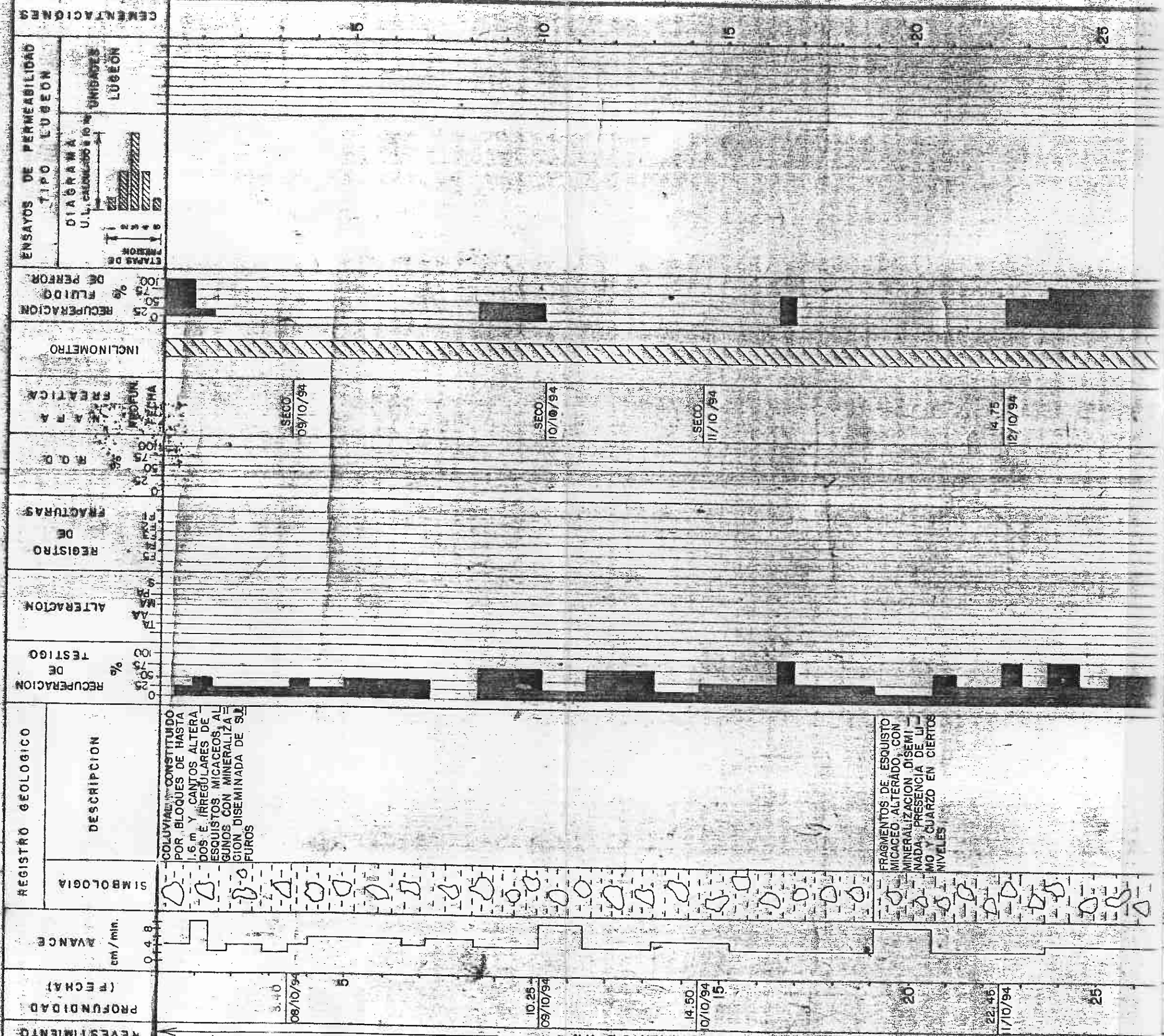
DIVISION DE INGENIERIA  
GEOTECNICA

INVESTIGACIONES: PERFORACIONES  
REGISTRO DE SONDEO EN ROCA

SECTOR LA "Y"

SONDEO PI-7 COORDENADAS: N E COTA m.s.n.m.  
PROFUNDIDAD 100.0 m. DIRECCION 0° INCLINACION 0° de la VERT.  
FECHA INICIACION 08/10/94 FECHA TERMINACION 05/11/94  
Revisado por: F.N./-B.V. Aprobado por: noja lde2

firmas:



FRAGMENTOS DE ESQUISTO  
GRAFITICO



11/10/94

25

12/10/94

25

29.80  
12/10/94

19.45

13/10/94

30

33.90  
13/10/94

19.50

14/10/94

35

40.10  
14/10/94

23.23

15/10/94

40

44.50  
15/10/94

27.85

16/10/94

45

50

50

LEYENDA

	ALTERACION (A)
1	B ROCA SANA
2	PA ROCA POCA ALTERADA
3	MA ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA
4	AA ROCA MUY ALTERADA
5	TA ROCA TOTALMENTE ALTERADA

	FRAC T U R A C I O N (F)
1	ROCA MACIZA < 1
2	ROCA FRACTURADA 1-5
3	ROCA MUY FRACTURADA 6-10
4	ROCA EXTREMADAMENTE FRACT. 11-20
5	ROCA FRAGMENTADA > 20

	R. Q. D. (%)
1	100 - 91 EXCELENTE
2	50 - 76 BUENA
3	75 - 51 REGULAR
4	50 - 26 MALA
5	25 - 0 PESIMA

OBSERVACIONES :

EL ANGULO DE LAS FRACTURAS ES RESPECTO A LA HORIZONTAL Y CORRESPONDE A LAS DE MAYOR FRECUENCIA EN ESE TRAMO

DE 0°-30° SON HORIZONTALES Y/O SUBHORIZONTALES  
30°-60° INCLINADAS  
60°-90° VERTICALES Y/O SUBVERTICALES

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION				
QUITO ECUADOR				
PROYECTO PAUTE				
DESlizamiento GUARUMALES				
INCLINOMETRO PI-7				
HOJA 1 DE 2		ESC 1:100		
DISEÑADO: ENF-B.V.		RECOMENDADO:		
DIBUJADO: S.M.C.				

Revisión	Fecha	Nombre de la Revisión	Por	Verif.	Aprob.









DIVISION DE INGENIERIA  
GEOTECNICA

INVESTIGACIONES: PERFORACIONES  
REGISTRO DE SONDEO EN ROCA

SECTOR 1 "LA Y"

SONDEO PI-2

PROFUNDIDAD 51.15 m.

COORDENADAS: N

E

COTA

INCLINACION 0°

m. s. n. m.

W. Coronel

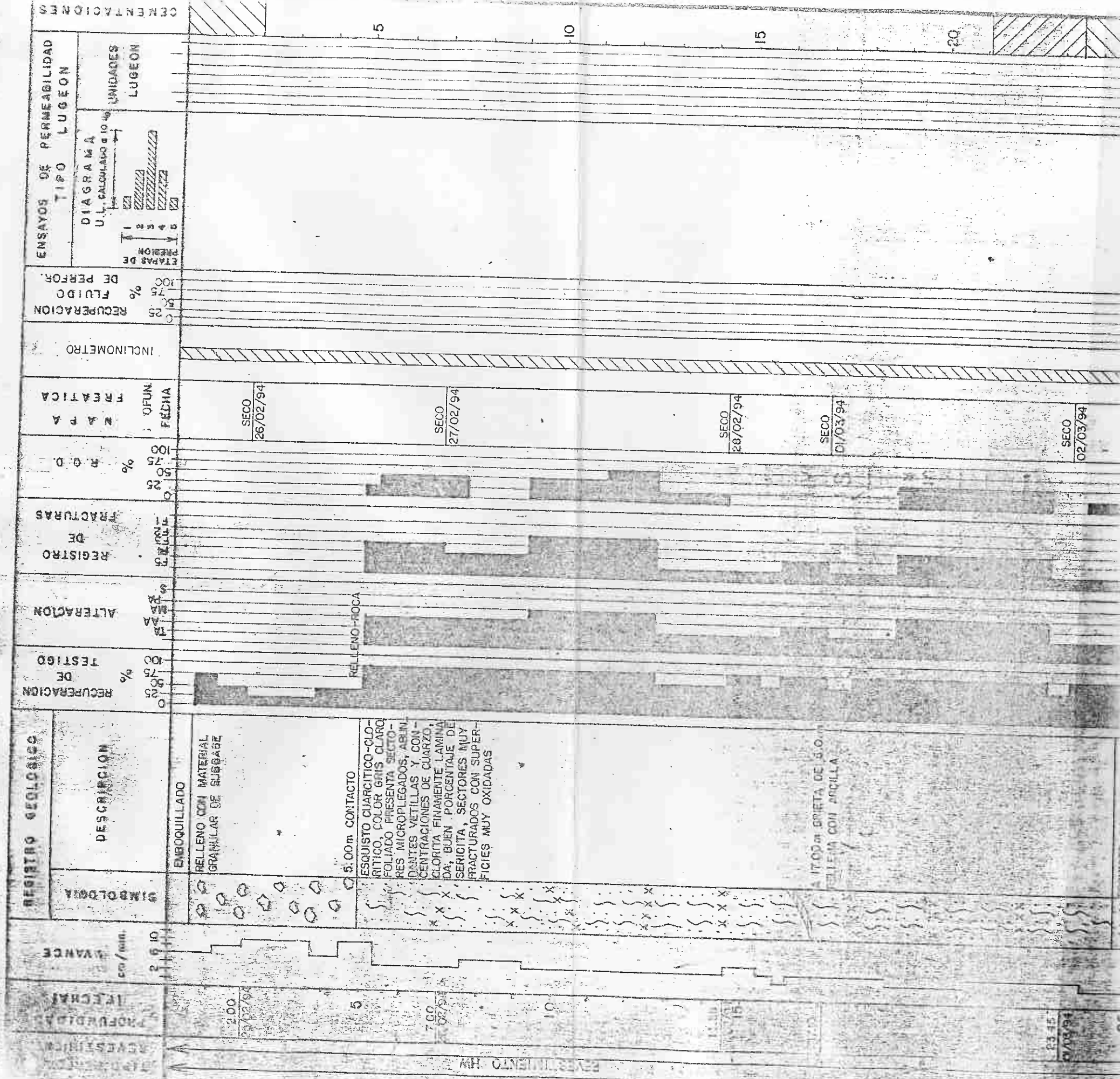
FECHA INICIACION 25/02/94

FECHA TERMINACION 20/03/94

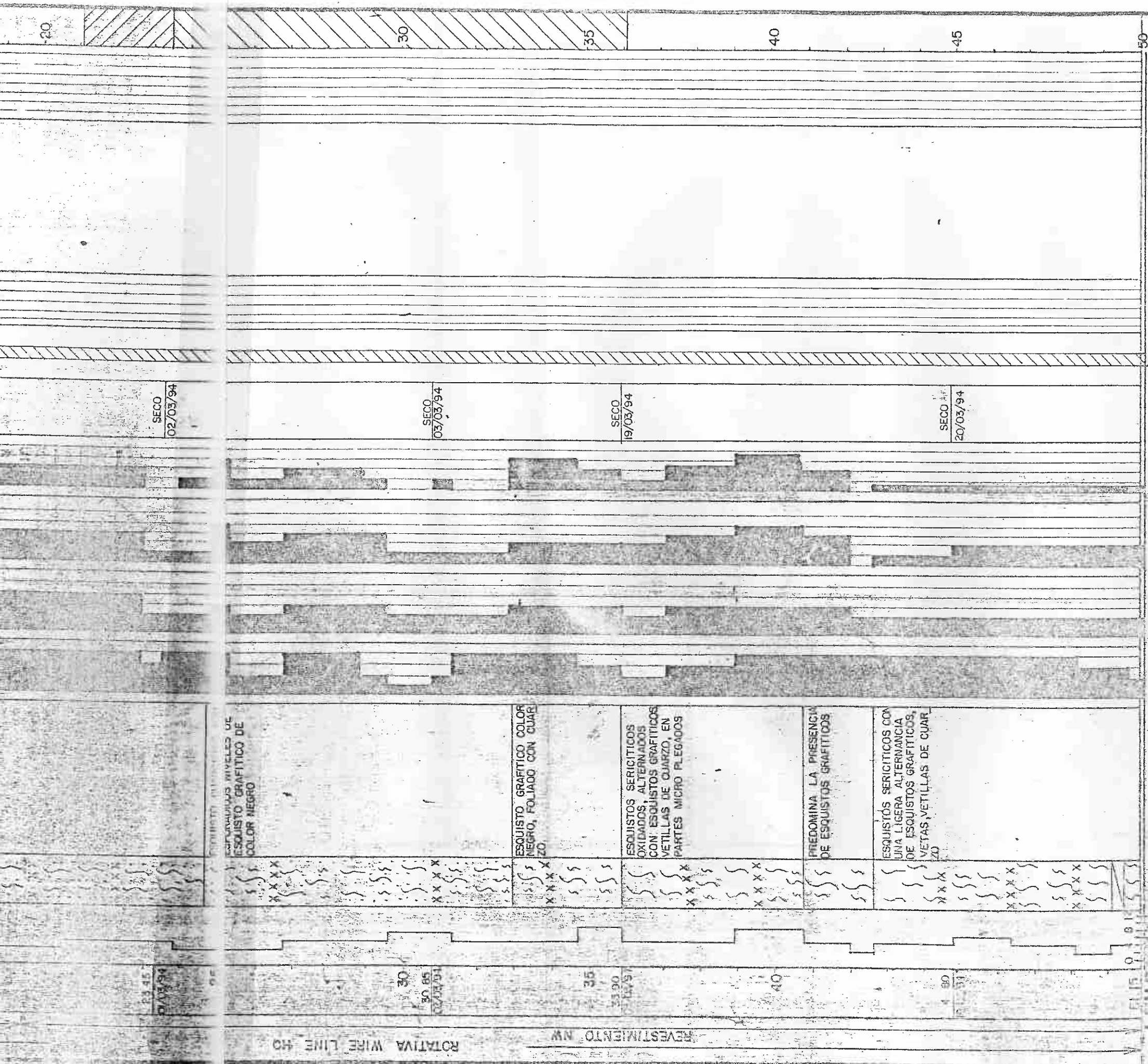
Revisado por: R.V./J.R.

Aprobado por:

hoja 1 del







	ALTERACION (A)
1	ROCA SANA
2	ROCA POCO ALTERADA
3	ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA
4	ROCA MUY ALTERADA
5	ROCA TOTALMENTE ALTERADA

	FRAC TURACION (F)
1	ROCA MACIZA < 1
2	ROCA FRACTURADA 1-5
3	ROCA MUY FRACTURADA 6-10
4	ROCA EXTREMADAMENTE FRACT. 11-20
5	ROCA FRAGMENTADA > 20

OBSERVACIONES : EL ANGULO DE LAS FRACTURAS ES RESPECTO A LA LINEA HORIZONTAL Y CORRESPONDE A LAS DE MAYOR FRECUENCIA EN ESE TRAMO.

XXX  
 VETAS DE CUARZO  
 FRACTURA ABIERTA  
 Ret. M. E. F. 100

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION  
QUINTO ECUADOR  
PROYECTO PAUTE  
DESPLAZAMIENTO GUARUMALES  
INCLINOMETRO PZ-2  
NOVA 1 RS 1 180 11100  
RECOMENDACIONES  
REVISADO  
FEBRERO NOVIEMBRE/64



DIVISION DE INGENIERIA  
GEOTECNICA

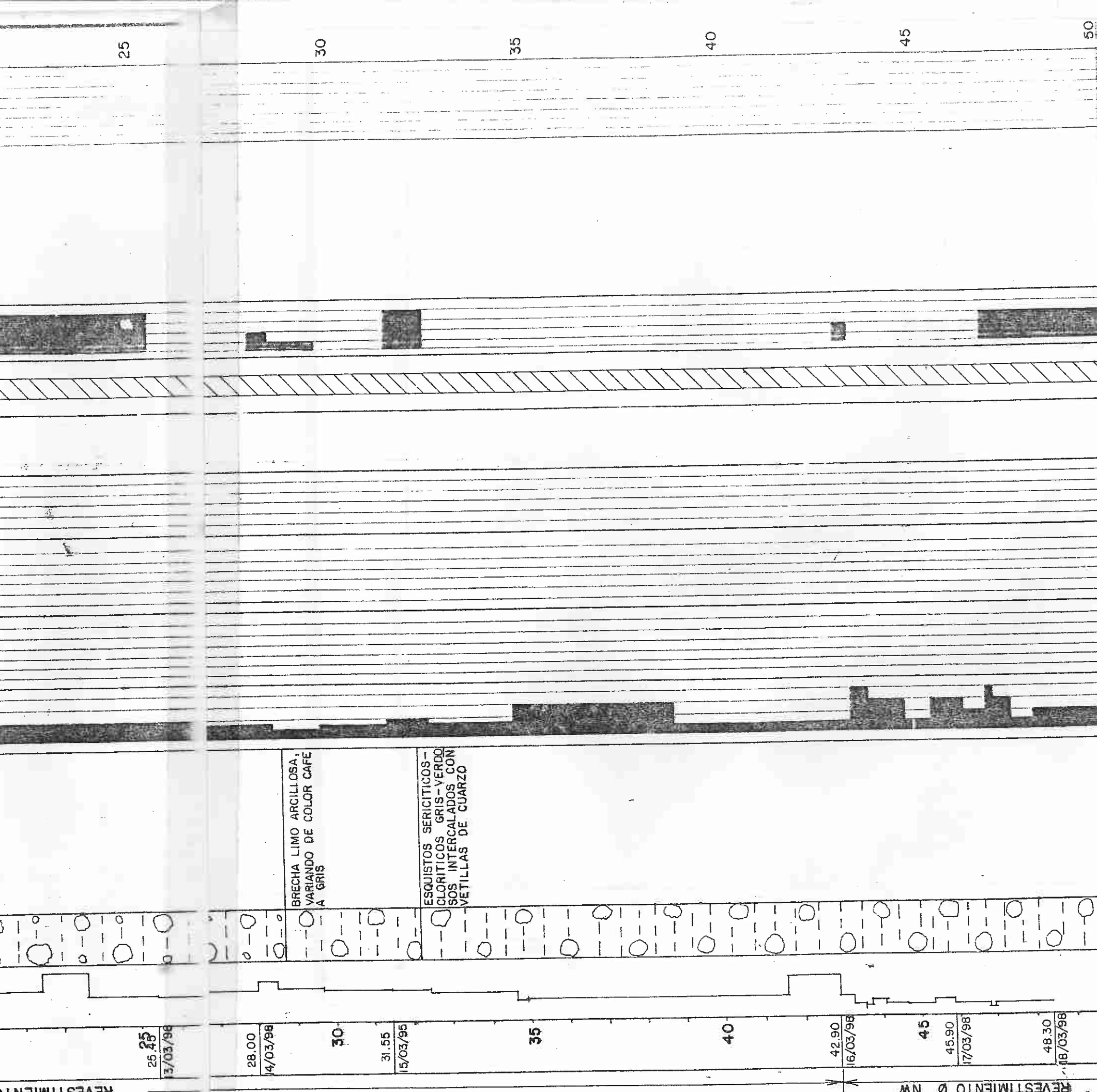
INVESTIGACIONES: PERFORACIONES  
REGISTRO DE SONDEO EN ROCA

PROYECTO: Deslizamiento Guarumales  
SONDEO: PI-7X  
COORDENADAS: N E COTA: m. s. n. m.  
LONDA: LONGYEAR # 38  
PROFUNDIDAD: 90 m DIRECCION: INCLINACION: de la vert.  
JEFE DE SONDEO: Sr. W. Coronel  
FECHA INICIACION: 07/FEBRERO/98 FECHA TERMINACION: 28/MARZO /98  
Registrado por: Ing. S. Bayas  
Revisado por: Aprobado por: hoja

Firmas:

PROFUNDIDAD (FECHA)	AVANCE cm/min.	REGISTRO GEOLOGICO	RECUPERACION DE TESTIGO %	ALTERACION	REGISTRO DE FRACTURAS	R.O.D. %	FREATICA	INCLINOMETRO	RECUPERACION FLUIDO C <sub>25</sub>	ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEO	CEMENTACIONES
		SIMBOLOGIA	DESCRIPCION				PROFUNDIDAD FECHA			DIAGRAMA U.L. CALCULADO a 1 cm	UNIDADES LUGEO
3.80 10/03/98	5	○	EMBOQUILLADO	100	0	100	1.07 11/03/98				
11.45 11/03/98	10	○	COLUVIAL COMPUESTO DE BLOQUES DE ORIGEN META- MORFICO (90%) Y VOLCANI- COS (10%) EN UNA MATRIS DE ARCILLA ARE- NOSA	100	0	100	9.60 12/03/98				
19.35 12/03/98	15	○		100	0	100	12.15 13/03/98				
25.45 13/03/98	20	○		100	0	100	12.90 14/03/98 13.10 15/03/98				
28.00 14/03/98	25	○		100	0	100	15.50 16/03/98 16.68 17/03/98 21.80 18/03/98				





LEYENDA

ALTERACION (A)	
1	ROCA SANA
2	ROCA POCA ALTERADA
3	ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA
4	ROCA MUY ALTERADA
5	ROCA TOTALMENTE ALTERADA

FRACTURACION (F)	
1	ROCA MACIZA
2	ROCA FRACTURADA
3	ROCA MUY FRACTURADA
4	ROCA EXTREMADAM. FRACT. 11-20
5	ROCA FRAGMENTADA

R.Q.D. (%)	
1	100-91
2	90-76
3	75-61
4	60-46
5	25-0

OBSERVACIONES:

EL ANGULO DE LAS FRACTURAS ES RESPECTO A LA HORIZONTAL Y CORRESPONDE A LAS DE MAYOR FRECUENCIA EN ESE TRAMO.

DE: 0°-30° SON HORIZONTALES Y/O SUBHORIZONTALES  
30°-60° INCLINADAS  
60°-90° VERTICALES Y/O SUBVERTICALES

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION  
QUITO ECUADOR  
CENTRAL PAUTE DESLIZAMIENTO GUARUMALES  
INCLINOMETRO PI-7X  
HOJA 1 DE 2  
DISEÑADO: B.V.  
DIBUJADO: B.M.C.  
REVISADO: APROBADO:





DIVISION DE INGENIERIA  
GEOTECNICA

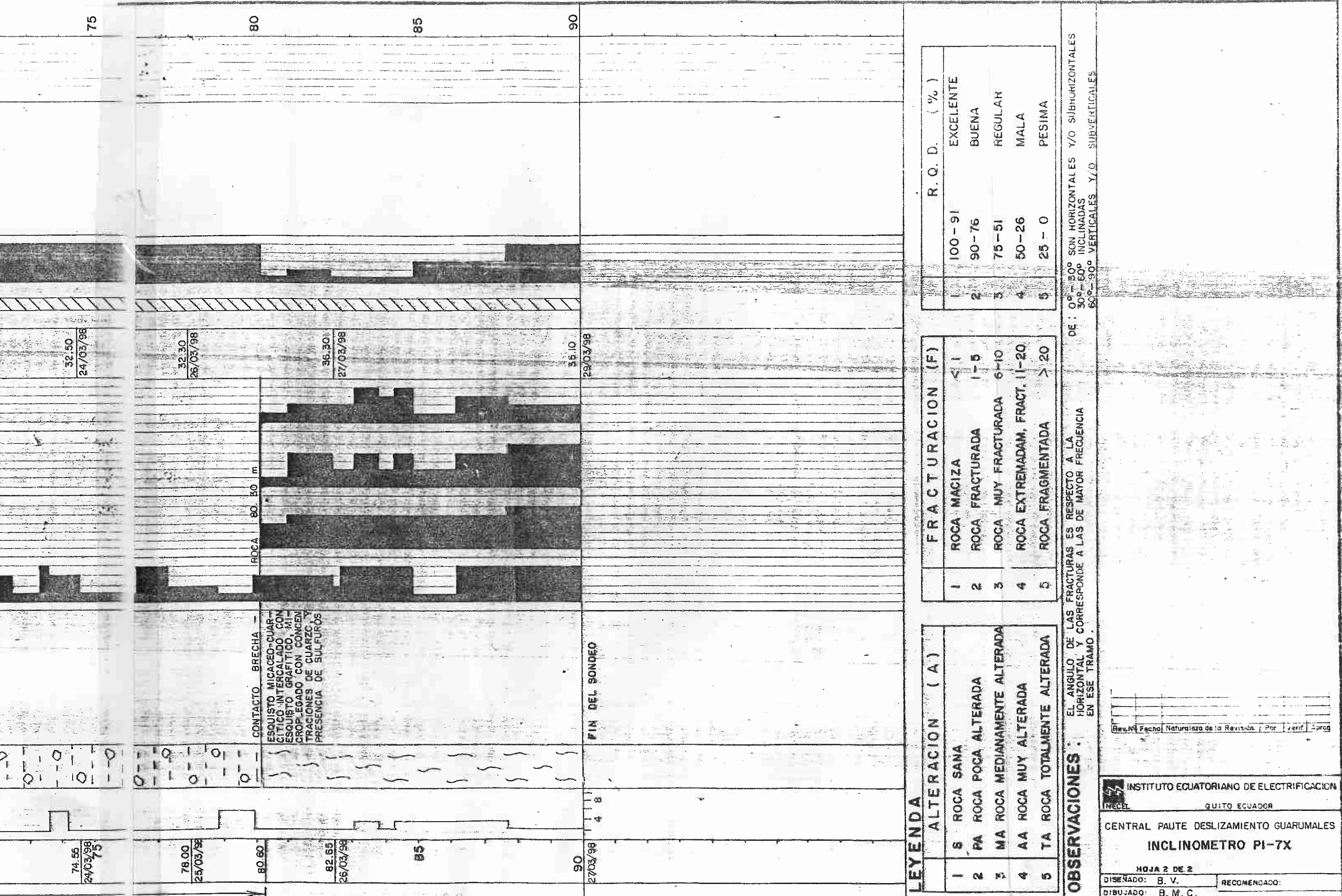
INVESTIGACIONES: PERFORACIONES  
REGISTRO DE SONDEO EN ROCA

SITIO PI-7X SONDEO PI-7X COORDENADAS: N E COTA 1 m.s.n.m.  
SONDA LONGYEAR #38 PROFUNDIDAD 90.00 m. DIRECCION 0° INCLINACION 0° de la vert.  
JEFE DE SONDEO B. Vasconez FECHA INICIACION 07/FEBRERO/98 FECHA TERMINACION 28/MARZO/98  
Registrado por: B. Vasconez Revisado por: hoja 2 de 2  
Firmas: Aprobado por:

TIPO PERFOR.	REVESTIMIENTO	PROFUNDIDAD (FECHA)	AVANCE cm./min.	REGISTRO GEOLOGICO		RECUPERACION DE TESTIGO %	ALTERACION	REGISTRO DE FRAC- TURAS	R.O.D. %	N.A.P.A.		INCLINOMETRO	RECUPERACION % FLUIDO DE PERFOR.	ENSAYOS DE PERMEABILIDAD		CEMENTACIONES
				SIMBOLOGIA	DESCRIPCION					PROFUN- DADA	FECHA			ETAPAS DE PRESION 1 2 3 4 5 6	DIAGRAMA U.L. CALCULADO a 10 kg LUGEON	
Y	Y	50.00			BLOQUES DE ESQUISTO CUARCITICO Y FRACMEN- TOS ANGULOSOS DE CO- LOR GRIS VERDOSO.											
		52.60								20.70	21/03/98					
		55														55
		60.15			BRECHA DE DESLIZAMEN- TO, COLOR GRIS VERDO- SO, CON FRAGMENTOS ME- NORES A 10 m, CONTIE- NE ABUNDANTES SULFUROS.					27.60	22/03/98					60
		65														65
		66.35								25.20						
		70														70
		70.60			PREDOMINANCIA DE FRAC- MENTOS DE ESQUISTO GRAFITICOS					19.20	24/03/98					
		74.55								32.50	24/03/98					75
		78.00														
		78.00														

PERFORACION A ROTACION WIRE LINE Ø NQ  
REVESTIMIENTO Ø NW





LEYENDA

ALTERACION (A)	
1	S ROCA SANA
2	PA ROCA POCA ALTERADA
3	MA ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA
4	AA ROCA MUY ALTERADA
5	TA ROCA TOTALMENTE ALTERADA

FRACTURACION (F)	
1	ROCA MACIZA < 1
2	ROCA FRACTURADA 1-5
3	ROCA MUY FRACTURADA 6-10
4	ROCA EXTREMADAM. FRACT. 11-20
5	ROCA FRAGMENTADA > 20

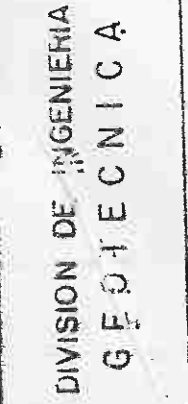
R. Q. D. (%)	
1	100-91 EXCELENTE
2	90-76 BUENA
3	75-51 REGULAR
4	50-26 MALA
5	25-0 PESIMA

OBSERVACIONES:

EL ANGULO DE LAS FRACTURAS ES RESPECTO A LA HORIZONTAL Y CORRESPONDE A LAS DE MAYOR FRECUENCIA EN ESE TRAMO.

DE: 0°-30° SON HORIZONTALES Y/O SUBHORIZONTALES  
30°-60° INCLINADAS  
60°-90° VERTICALES Y/O SUBVERTICALES

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION QUITO ECUADOR	
CENTRAL PAUTE DESLIZAMIENTO GUARUMALES INCLINOMETRO PI-7X	
HOJA 2 DE 2	
DISEÑADO: B. V.	RECOMENDADO:
DIBUJADO: B. M. C.	



# TECH

DeslizamientoGuarumales

SITIO \_\_\_\_\_

SONDA LONGYEAR #38

JEFE DE SONDEO Sr. W. Coronel

Registrado por: Ing. S. Bayes

SONDEO **PI-6X**

COORDENADAS: N \_\_\_\_\_ E \_\_\_\_\_ CORA 1 \_\_\_\_\_

DIRECCION \_\_\_\_\_ INCLINACION \_\_\_\_\_ O° \_\_\_\_\_

PROFUNDIDAD 75.40 m.

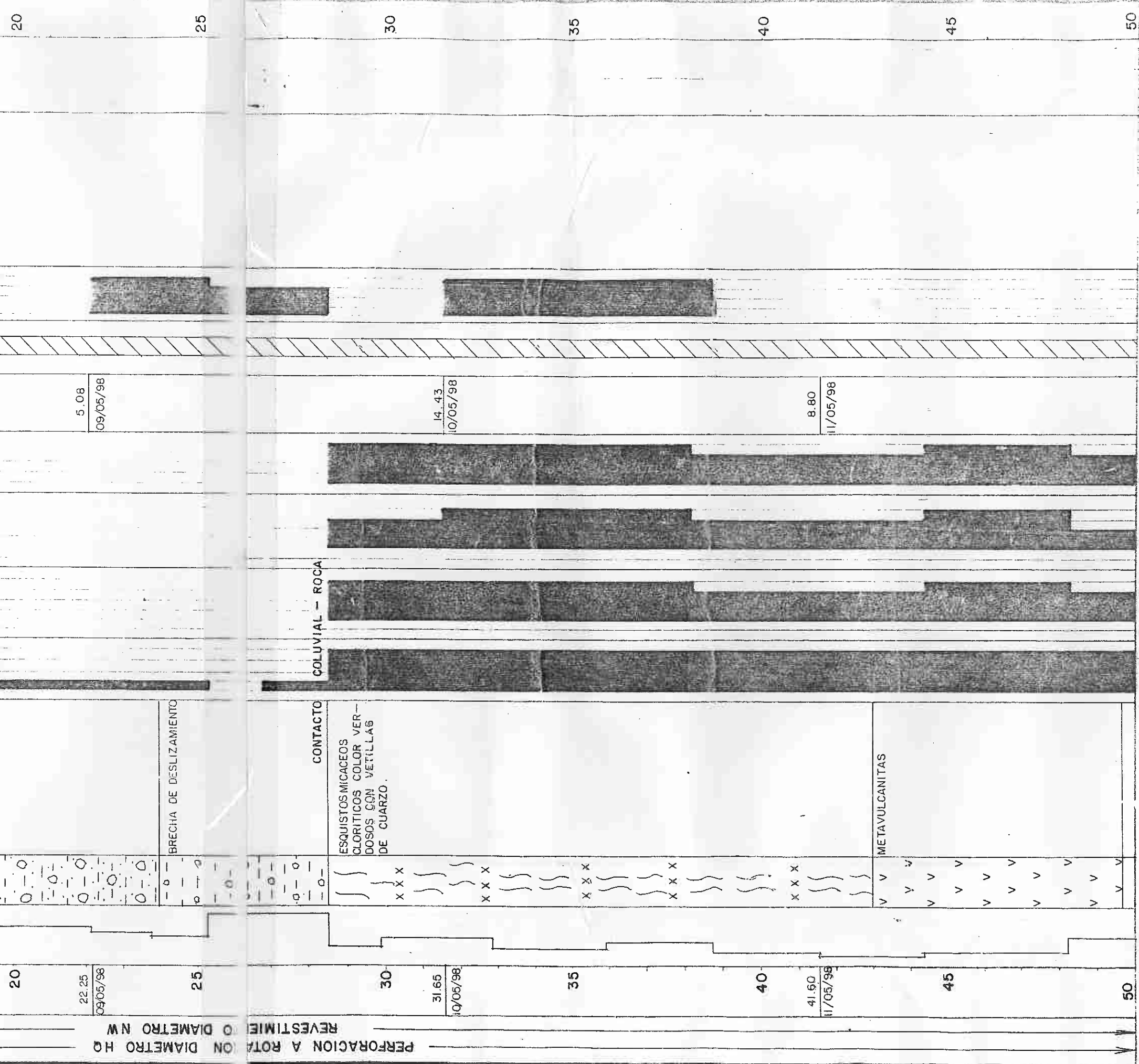
FECHA INICIACION 07/MAYO/98 FECHA TERMINACION 14/MAYO/98

Revisado por: \_\_\_\_\_ Aprobado por: \_\_\_\_\_

Hoja 1 de 2

Firms:

[illegible]



LEYENDA

	ALTERACION (A)
1	S ROCA SANA
2	PA ROCA POCA ALTERADA
3	MA ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA
4	AA ROCA MUY ALTERADA
5	TA ROCA TOTALMENTE ALTERADA

	FRACTURACION (F)
1	ROCA MACIZA < 1
2	ROCA FRACTURADA 1-5
3	ROCA MUY FRACTURADA 6-10
4	ROCA EXTREMADAM. FRAC. 11-20
5	ROCA FRAGMENTADA > 20

	R.Q.D. (%)
1	100-51 EXCELENTE
2	50-76 BUENA
3	75-51 REGULAR
4	50-26 MALA
5	25-0 PESADA

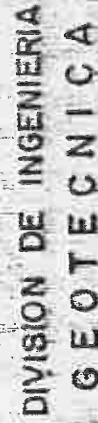
OBSERVACIONES:

EL ANGULO DE LAS FRACTURAS ES RESPECTO A LA HORIZONTAL Y CORRESPONDE A LAS DE MAYOR FRECUENCIA EN ESE TRAMO

DE 0° - 30° 30° - 60° 60° - 90° 90° - 120° 120° - 150° 150° - 180°

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION	
QUITO, ECUADOR	
DESPLIZAMIENTO GUARUMALES	
INCLINOMETRO PI-6X	
DISEÑADO: S.B.	RECOMENDADO: S.B.
DIBUJADO: B.M.C.	APROBADO: S.B.
REVISADO: S.B.	FECHA: S.B.





CO

2020

[illegible]



FIN DEL SONDEO

LEYENDA

	ALTERACION (A)
1	S ROCA SANA
2	PA ROCA POCA ALTERADA
3	MA ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA
4	AA ROCA MUY ALTERADA
5	TA ROCA TOTALMENTE ALTERADA

	FRACTURACION (F)
1	ROCA MACIZA < 1
2	ROCA FRACTURADA 1-5
3	ROCA MUY FRACTURADA 6-10
4	ROCA EXTREMADAM. FRACT. 11-20
5	ROCA FRAGMENTADA > 20

	R. Q. D. (%)
1	100-91 EXCELENTE
2	90-76 BUENO
3	75-51 REGULAR
4	50-25 MALA
5	25-0 PISADA

OBSERVACIONES :

EL ANGULO DE LAS FRACTURAS ES RESPECTO A LA HORIZONTAL Y CORRESPONDE A LAS DE MAYOR FRECUENCIA EN ESE TRAMO

DE : 0° - 30° SON HORIZONTALES 1/0 HORIZONTAL  
30° - 60° INCLINADAS  
60° - 90° VERTICALES 1/0 VERTICAL

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION	
QUITO, ECUADOR	
DESPLAZAMIENTO GUARUMALES	
INCLINOMETRO PI-6X	
DISEÑADO: S.B.	RECOMENDADO
DIBUJADO: B.M.C.	APROBADO
REVISADO:	
SEÑALADO:	

REGISTRO DE SONDEO EN ROSA

ESCUELA SONDEO PI-6 COORDENADAS: N E COYA 0°  
ONGYEAR 38 PROFUNDIDAD 67.0 m DIRECCION 0°  
SONDEO W. Coronel FECHA INICIACION 0/05/94 FECHA TERMINACION 18/05/94  
Revisado por Ing. D. Tipán Aprobado por Ing. D. Tipán

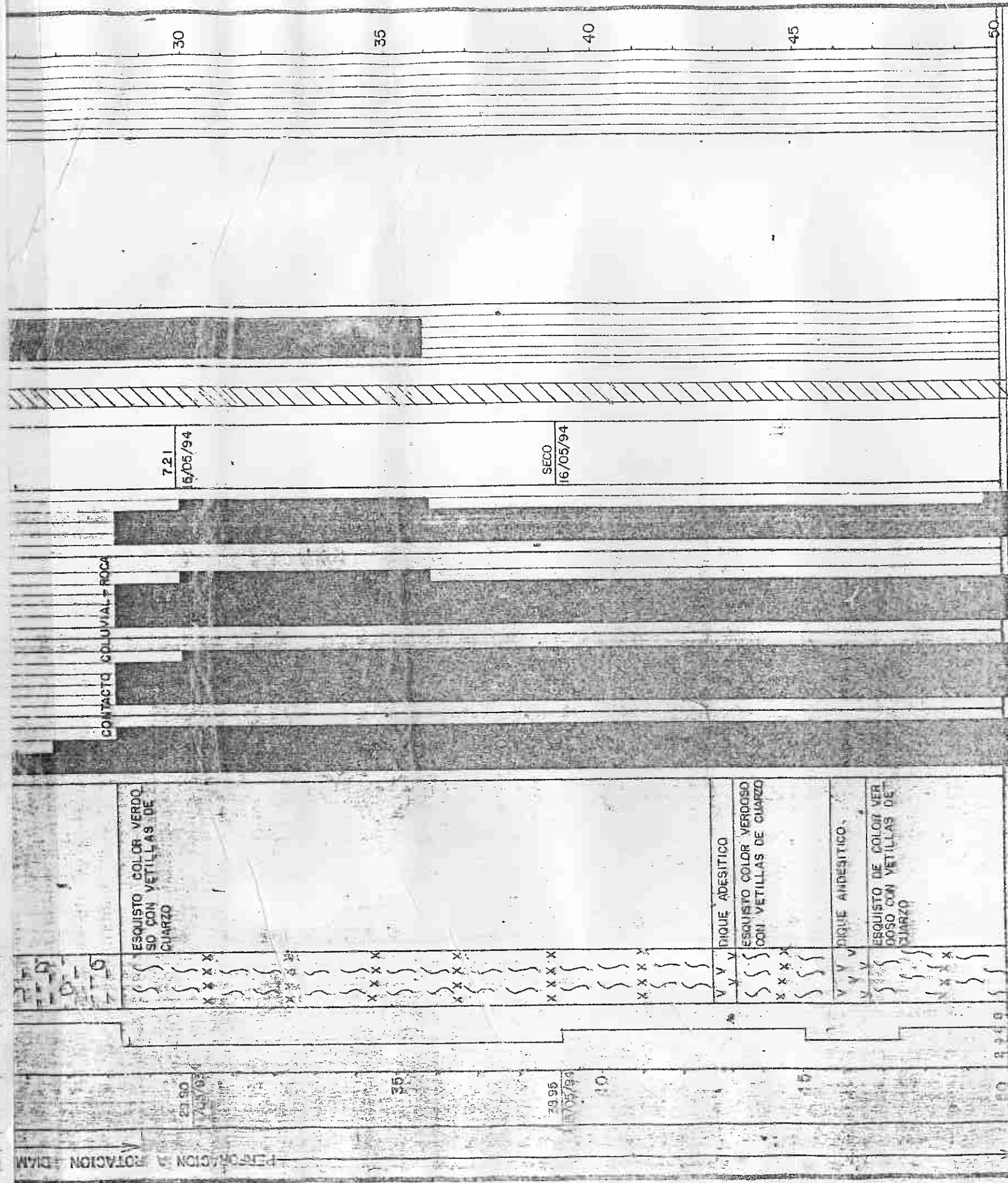
SISTRO GEOLOGICO		RECUPERACION DE TESTIGO %	ALTERACION DE ESTRATOS	REGISTRO DE FRACTURAS	R.O.D. %	MAPA FREATICA FECHA	INCLINOMETRO	RECUPERACION % FLUIDO DE PERFOR.	Escala de FRENOS DE PERFOR.	Escala de CANTIDAD DE PERFOR.
SYMBOLOGIA	DESCRIPCION									
245.8	COLUVIAL COMPLETO POR FRAGMENTOS ANGULOSOS Y MATRIZ LIMOSA COLOR AMAGUILLENTA	0.28				1.45 12/05/94				
	BLOQUE DE ESQUISTO OXIDADO COLOR PLOMO									
	BLOQUE ESQUISTO FRESCO COLOR PLOMO									
	BLOQUE ESQUISTO OXIDADO NIVEL ARENOSO									
	BLOQUE DE ESQUISTO OXIDADO COLOR PLOMO									
	FRAGMENTOS ANGULOSOS DE ROCA METAMORFICA Y MATRIZ LIMOSA					4.74 13/05/94				
	BLOQUES DE ROCA Y FRAGMENTOS ANGULOSOS EN MATRIZ LIMOSA									
	BUSCA DE DESLIZAMIENTO					10.80 14/05/94				

CONTACTO COLUVIAL Y ROCA

ESQUISTO COLOR VERDE  
SO CON VETILLAS DE  
CUARZO

7.21  
15/05/94





ALTERACION (A)		FRACTURACION (F)		R.Q.D. (%)	
1	ROCA SANA	1	ROCA MACIZA	1	100-91
2	ROCA POCO ALTERADA	2	ROCA FRACTURADA	2	90-76
3	ROCA MODERAMENTE ALTERADA	3	ROCA MUY FRACTURADA	3	75-51
4	ROCA MUY ALTERADA	4	ROCA EXTREMADAMENTE FRACT.	4	50-26
5	ROCA TOTALMENTE ALTERADA	5	ROCA FRAGMENTADA	5	25-0

NOTAS: EL ANGLULO DE LAS FRACTURAS ES RESPECTO A LA HORIZONTAL Y CORRESPONDE A LAS DE MAYOR FRECUENCIA EN ESTE TRAMO.

05: 00°-30° SON HORIZONTALES Y/O SUBHORIZONTALES  
30°-60° INCLINADAS  
60°-90° VERTICALES Y/O SUBVERTICALES

XXX VETAS DE CUARZO

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION	
PROYECTO: PAUTA DE DESLIZAMIENTO	
INCLINACIONES: 100	
FECHA: 14/05/94	
LUGAR: 100	
DISEÑADOR: 100	
REVISOR: 100	
APROBADO: 100	

INVESTIGACIONES: PERFORACIONES  
REGISTRO DE SONDEO EN ROCA

ESCUELA \_\_\_\_\_ SITIO \_\_\_\_\_  
 Sonda \_\_\_\_\_ LONGYEAR 38  
 JEFE DE SONDEO \_\_\_\_\_ W. Cornejo  
 Registrado por: \_\_\_\_\_ Ing. D. Tipán  
 Firmado: \_\_\_\_\_  
 PI-6  
 SONDEO \_\_\_\_\_ COORDENADAS: N \_\_\_\_\_ E \_\_\_\_\_ COTA \_\_\_\_\_ m. s. n. m.  
 PROFUNDIDAD 670 m. DIRECCION \_\_\_\_\_ INCLINACION 0° de la vert.  
 FECHA INICIACION 10/05/94 FECHA TERMINACION 18/05/94  
 Revisado por: \_\_\_\_\_ Aprobado por: \_\_\_\_\_ hoja 2 de 2

[illegible]

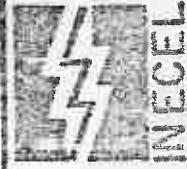
ALTERACION (A)	
0	ROCA SANA
1A	ROCA POCO ALTERADA
2A	ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA
3A	ROCA MUY ALTERADA

	FRACTURACION (F)
1	ROCA MACIZA < 1
2	ROCA FRACTURADA 1-5
3	ROCA MUY FRACTURADA 6-10
4	ROCA EXTREMADAMENTE FRACT. 11-20

	R. Q. D. (%)
1	100-91
2	90-76
3	75-51
4	50-25







DIVISION DE INGENIERIA  
GEOTECNICA

INVESTIGACIONES: PERFORACIONES  
REGISTRO DE SONDEO EN ROCA

SITIO Qda. de la Escuela M.I. SONDEO PI-5 COORDENADAS: N E COTA 1 M.S.N.M.  
SONDA LONGYEAR 38 PROFUNDIDAD 50.00 m. DIRECCION INCLINACION de la vert.  
JEFE DE SONDEO J. Villarroel FECHA INICIACION 10/12/94 FECHA TERMINACION 19/01/95  
Registrado por: Ing. J. Robles Revisado por: B. Vascones Aprobado por: Rojo del

Firmas:

TIPO PERFOR. O REVESTIMIENTO	PROFUNDIDAD (FECHA)	AVANCE cm./min.	REGISTRO GEOLOGICO	DESCRIPCION	RECUPERACION DE TESTIGO %	ALTERACION	REGISTRO DE FRACTURAS	R.Q.D. %	N.A.P.A. PROFUN. FECHA	INCLINOMETRO	RECUPERACION FLUIDO % DE PERFOR.	ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEOON	UNIDADES LUGEOON	CEMENTACIONES
			SIMBOLOGIA									DIAGRAMA U.I. calculado a 10 kg		
	5.95 10/12/94	4.8		LIMO ARCILLO-LIMOSO CAFE OSCURO LIGERAMENTE PLASTICO	100	1A		100	SECO 11/12/94		100	1		
				SUELO LIMO-ARCILLOSO CAFE, AMARILLENTO, LIGERAMENTE PLASTICO	100	1A		100			100	2		
				SUELO PERIQUIL CON FRAGMENTOS CENTIMETRICOS DE ESQUISTOS ALTERNADOS OXIDADOS	100	1A		100			100	3		
				COLUVIAL: CONSTITUIDO POR FRAGMENTOS CENTIMETRICOS, DECIMETRICOS Y ESPORADICAMENTE POR BLOQUES METRICOS DE ESQUISTOS VERDES, ESQUISTOS GRAFITEOS CON UN GRADO DE ALTERACION Y OXIDACION VARIABLE, CIERTOS FRAGMENTOS MUESTRAN UNA MINERALIZACION DISEMINADA. EN PARTE ES EVIDENTE LA PRESENCIA DE FRAGMENTOS CENTIMETRICOS DE CUARZO AMORFO (LECHOSO) OXIDADO A VECES. LA MATRIZ DEL COLUVIAL ESTA CONSTITUIDA POR UN LIMO-ARCILLOSO	100	1A		100			100	4		
	14.10 11/12/94			COLUVIAL: CONSTITUIDO POR FRAGMENTOS CENTIMETRICOS Y DECIMETRICOS DE ESQUISTOS CLORITICOS, SERICITICOS ALTERADOS, OXIDADOS DISTRIBUIDOS EN UNA MATRIZ LIMO ARCILLOSA.	100	1A		100	12.20 12/12/94		100	5		
				LOS FRAGMENTOS CENTIMETRICOS SON INTRUSIVO AL LIMO	100	1A		100			100	6		
				BRECHA DE DESLIZAMIENTO CARACTERIZADO POR UNA MATRIZ LIMO ARCILLOSA DE COLOR GRIS VERDOSO A CAFE GRISACEO ENVOLVIENDO A FRAGMENTOS MILIMETRICOS (GRAMILLA), CENTIMETRICOS EN SU MAYORIA Y ESPORADICAMENTE DECIMETRICOS DE ESQUISTOS CLORITICOS, SERICITICOS, MICACEOS	100	1A		100	9.10 13/12/94		100	7		
	21.75 12/12/94				100	1A		100			100	8		
					100	1A		100			100	9		
					100	1A		100			100	10		
					100	1A		100			100	11		
					100	1A		100			100	12		
					100	1A		100			100	13		
					100	1A		100			100	14		
					100	1A		100			100	15		
					100	1A		100			100	16		
					100	1A		100			100	17		
					100	1A		100			100	18		
					100	1A		100			100	19		
					100	1A		100			100	20		
					100	1A		100			100	21		
					100	1A		100			100	22		
					100	1A		100			100	23		
					100	1A		100			100	24		
					100	1A		100			100	25		

OTACION HQ TO HW

PERFORACION A REVESTIMIENTO

30

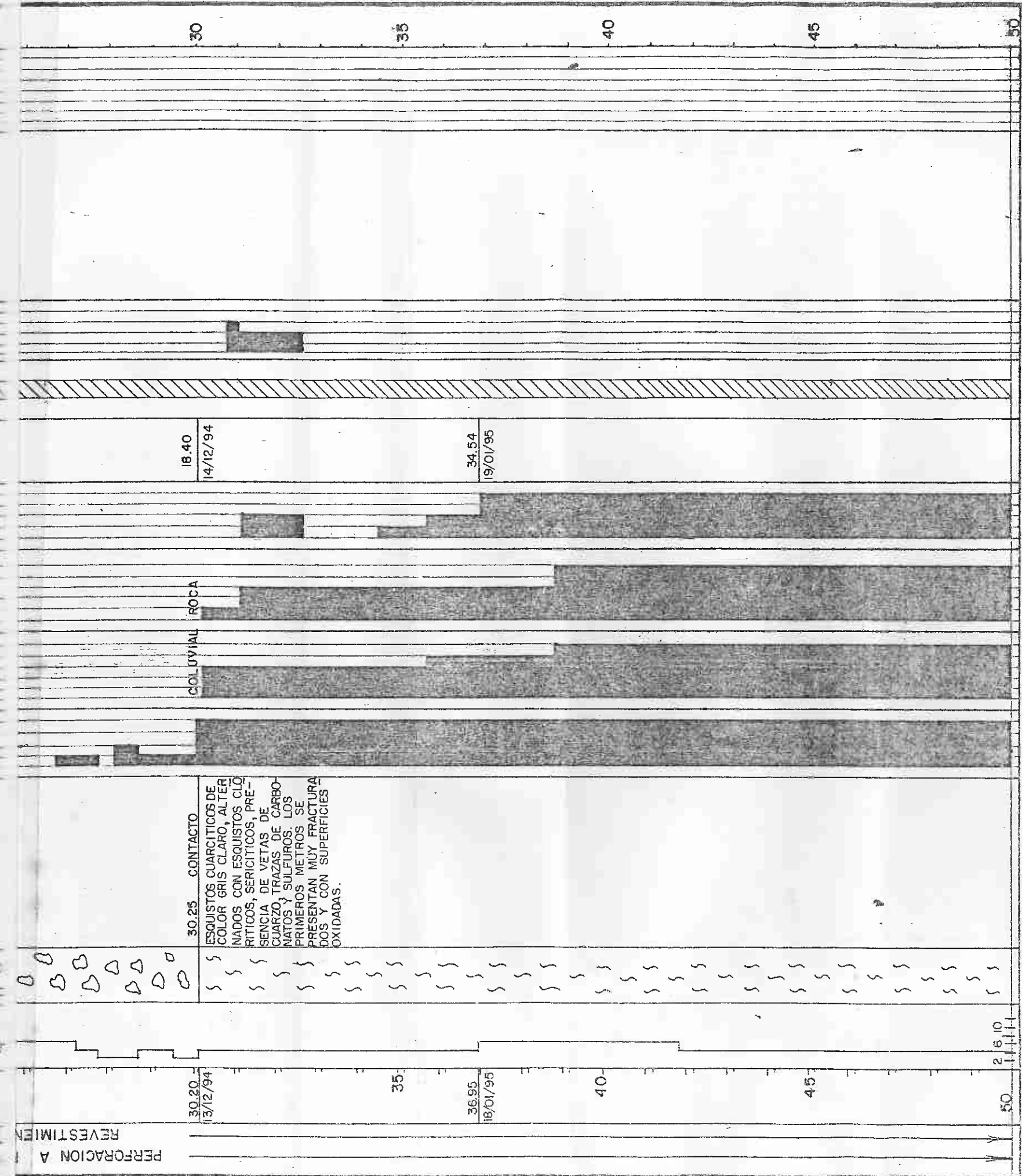
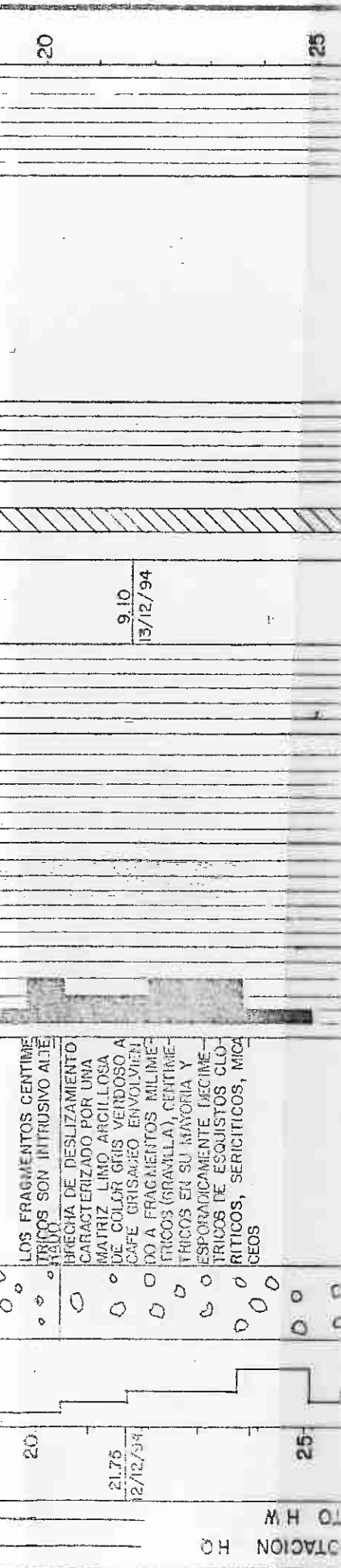
30.25 CONTACTO  
ESQUISTOS CUARZITICOS DE COLOR GRIS CLARO, ALTERADOS CON ESQUISTOS CLORITICOS, SERICITICOS, PRESENCIA DE VETAS DE

30.20 13/12/94

COLUVIAL ROCA

18.40 14/12/94





LEYENDA

ALTERACION (A)		FRACTURACION (F)		R. Q. D. (%)	
1	S ROCA SANA	1	ROCA MACIZA < 1	1	100 - 91
2	MA ROCA POCAMENTE ALTERADA	2	ROCA FRACTURADA 1-5	2	90 - 76
3	MA ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA	3	ROCA MUY FRACTURADA 6-10	3	75 - 61
4	AA ROCA MUY ALTERADA	4	ROCA EXTREMADAMENTE FRACT. 11-20	4	60 - 26
5	TA ROCA TOTALMENTE ALTERADA	5	ROCA FRACTURADA > 20	5	25 - 0

OBSERVACIONES: EL ANGULO DE LAS FRACTURAS ES RESPECTO A LA HORIZONTAL Y CORRESPONDE A LAS DE MAYOR FRECUENCIA EN ESE TRAMO.

DE: 0° - 30° SON HORIZONTALES Y/O SUBHORIZONTALES  
30° - 60° INCLINADAS  
60° - 90° VERTICALES Y/O SUBVERTICALES

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION

QUITO, ECUADOR

PROYECTO - PAUTE

DESPLAZAMIENTO GUARUMALES

INCLINOMETRO PI-3

HOJA 1 DE 1

ESCALA: 1:100

DISEÑADO: Ing. J. F. - B. V. RECOMENDADO:

DIBUJADO: B. V. A. APROBADO:

REVISADO:

FECHA: MARZO/95



五

[illegible]

ACCION 0 HQ REVEST

PERFORACION A RO

23.60

04/02/98

25

30

31.65

05/02/98

35

38.85

06/02/98

40

45

07/02/98

BRECHA LIMO-ARCILLOSA  
VARIANDO DE COLOR CA  
FE A GRIS

ESQUISTOS SERICITICOS  
CLORITICOS GRIS VERDO  
SOS INTERCALADOS CON  
VETILLAS DE CUARZO

FIN DEL SONDEO

LEYENDA

	ALTERACION (A)
1	S ROCA SANA
2	HA ROCA POCA ALTERADA
3	HIA ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA
4	AA ROCA MUY ALTERADA
5	TA ROCA TOTALMENTE ALTERADA

	FRACTURACION (F)
1	ROCA MACIZA < 1
2	ROCA FRACTURADA 1-5
3	ROCA MUY FRACTURADA 6-10
4	ROCA EXTREMADAM. FRACT. 11-20
5	ROCA FRAGMENTADA > 20

	REGISTRO (%)
1	100-51
2	50-76
3	75-51
4	50-25
5	25-0

OBSERVACIONES:

EL ANGULO DE LAS FRACTURAS ES RESPECTO A LA  
HORIZONTAL Y CORRESPONDE A LAS DE MAYOR FRECUENCIA  
EN ESE TRAMO

DE

0°-30° 30°-60° 60°-90° 90°-120° 120°-150° 150°-180°

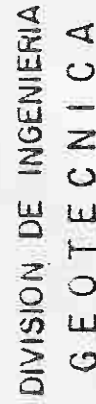
INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRICIDAD

DESPLAZAMIENTO GUARUMALES

INCLINOMETRO PI-3A

REVISADO: S. B. RECOMENDADO  
DISEÑADO: S. B. APROBADO  
ELABORADO: S. B. APROBADO





INVESTIGACIONES: PERFORACIONES  
REGISTRO DE SONDEO EN ROCA

SITIO INSTRUMENTACION  
 Sonda LONGYEAR 38  
 JEFE DE SONDEO J. Villarruel  
 Registrado por: Ing. J. Robles

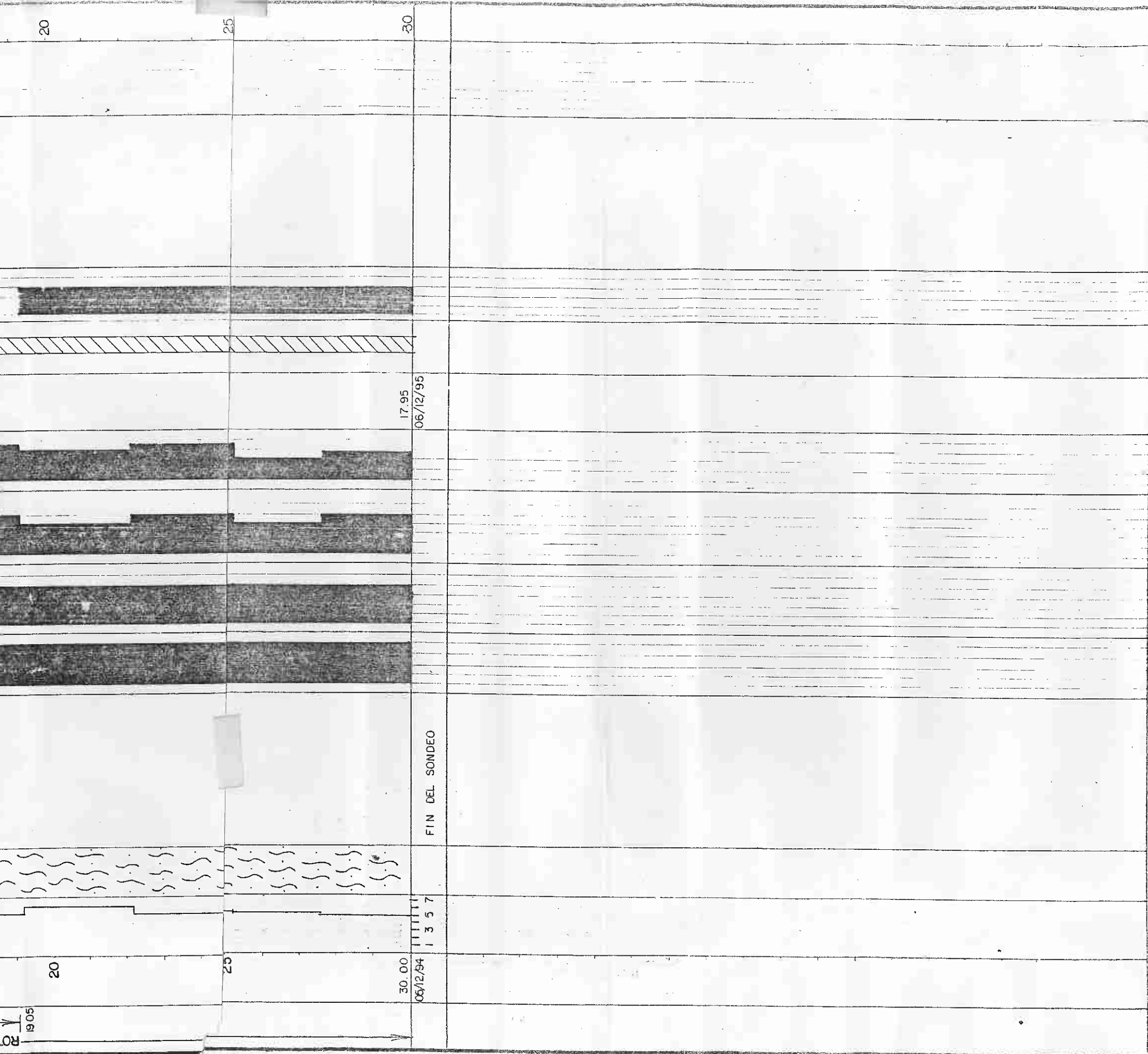
SONDEO PI-4  
 PROFUNDIDAD 30.0 m.  
 FECHA INICIACION 03/12/94  
 Revisado por: \_\_\_\_\_

COORDENADAS: N \_\_\_\_\_ E \_\_\_\_\_ COTA 1  
 DIRECCION \_\_\_\_\_ INCLINACION 0°  
 Aprobado por: \_\_\_\_\_

FECHA TERMINACION 05/12/94  
 hoja 1 del \_\_\_\_\_

Firmas:

TIPO PERFOR. Ø		PROFUNDIDAD (FECHA)	AVANCE cm/min.	REGISTRO GEOLOGICO		RECUPERACION DE TESTIGO	ALTERACION	REGISTRO DE FRACATURAS	R.O.D. %	N.A.F.A. PROFUN. FECHA	INCLINOMETRO	RECUPERACION % FLUIDO DE PERFOR.	ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGERON	CEMENTACIONES
				SIMBOLOGIA	DESCRIPCION								DIAGRAMA U.L. CALCULADO a 10 kg PRESION ETAPAS DE 1 2 3 4 5 UNIDADES LUGERON	
ROTACION A DIAMANTE Ø H0		9.45 03/12/94	0 2 4 6	EMBOQUILLADO	SUELO ARCILLOSO, PLASTICO, COCATE AMARILLENTO	100	TA MA PA S	FRAC 1 2 3 4 5	0 25 50 75 100	7.55 05/12/94		100		
		16.50 04/12/94			ALTERNANCIA DE EQUISTOS CUARCITICOS, SERICITICOS, CLORITICOS DEPENDIENDO DEL MINERAL DOMINANTE. CIERTAS FRACATURAS ESTAN OXIDADAS, MINERALIZADAS EN TRAMOS SE NOTA LA PRESENCIA DE VETAS VETILLAS MICROPLEGADAS DE CUARZO	100	TA MA PA S	FRAC 1 2 3 4 5	0 25 50 75 100			100		
					LAS FRACATURAS ESTAN RELENAS DE ARCILLA	100	TA MA PA S	FRAC 1 2 3 4 5	0 25 50 75 100			100		
					PRESENCIA DE MATERIA ORGANICA (?) RELLENADO CIERTAS OQUEADES	100	TA MA PA S	FRAC 1 2 3 4 5	0 25 50 75 100			100		
		30.00 06/12/95				100	TA MA PA S	FRAC 1 2 3 4 5	0 25 50 75 100	17.95 06/12/95		100		



LEYENDA

	ALTERACION (A)
1	S ROCA SANA
2	PA ROCA Poca ALTERADA
3	MA ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA
4	AA ROCA MUY ALTERADA
5	TA ROCA TOTALMENTE ALTERADA

	FRACTURACION (F)
1	ROCA MACIZA < 1
2	ROCA FRACTURADA 1-5
3	ROCA MUY FRACTURADA 6-10
4	ROCA EXTREMADAM. FRACT. 11-20
5	ROCA FRAGMENTADA > 20

	K. Q. D. (%)
1	100-91 EXCELENTE
2	90-75 BUENA
3	75-51 REGULAR
4	50-25 MALA
5	25-0 PESIMA

OBSERVACIONES:

EL ANGULO DE LAS FRACTURAS ES RESPECTO A LA HORIZONTAL Y CORRESPONDE A LAS DE MAYOR FRECUENCIA EN ESE TRAMO

DE : 0° - 30° SON HORIZONTALES Y/O SUBHORIZONTALES  
30° - 60° INCLINADAS  
60° - 90° VERTICALES Y/O SUBVERTICALES

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRICIDAD	
PROYECTO PAUTE	
DESPLAZAMIENTO GUAFUMALES	
INSTRUMENTACION PE-4	
HOJA DEL	ESC: 1:100
DISEÑADO: ING. J. RODRIGUEZ	RECOMENDADO
DIBUJADO: B. MIG.	APROBADO
REVISADO	FECHA
MARZO/95	



DIVISION DE INGENIERIA  
GEOTECNICA

INVESTIGACIONES: PERFORACIONES  
REGISTRO DE SONDEO EN ROCA

GASOLINERA  
SONDEO PI-3 COORDENADAS: N E COTA m.s.n.m.  
PROFUNDIDAD 89.65 m. DIRECCION INCLINACION 0° de la vert.  
EST. DE SONDEO J. Vargas- W. Coronel 11/12/93 FECHA TERMINACION 24/01/94  
Revisado por: Inga J. R.-D.T. Aprobado por: hoja 1 de 2

PROFUNDIDAD (metros)	TIPO DE SUELO	VELOCIDAD cm/min	SIMBOLOGIA	DESCRIPCION	REGISTRO GEOLOGICO	RECUPERACION DE TESTIGO %	ALTERACION	REGISTRO DE FRACTURAS	R.O.D. %	FREATICA P.A. PROFUND. FECHA	INCLINOMETRO	RECUPERACION % FLUIDO DE PERFOR.	ENSAYOS DE PERMEABILIDAD		CENTENARIOS
													TIPO	LUGEON	
0.4	8	12		FRAGMENTOS CENTIMETRICOS DE ESQUISTOS, ALTOS DE COLORACION CAFE ROJIZA EN UNA MATRIZ LIMOSA		0	10	CAJON	0	0		100	DIAGRAMA U.L. CALCULADO a 10 kg	UNIDADES LUGEON	
1.70	17.5			BLOQUE DE ESQUISTO ALTERADO COLUVIAL CON CARACTERISTICAS SIMILARES		0	10	CAJON	0	0		100	DIAGRAMA U.L. CALCULADO a 10 kg	UNIDADES LUGEON	
1.70	17.5			PRESENCIA DE ARCILLA NEGRA ESQUISTOS COMPLETAMENTE ALTERADOS, CAFE AMARILLENTO, CAJON POR DESCOMPOSICION DE ESTRUCTURA VESICULAR CON DECIERTOS MINERALES. EVIDENCIA DE UN PROCESO DE ALTERACION IDROTERMAL		0	10	CAJON	0	0		100	DIAGRAMA U.L. CALCULADO a 10 kg	UNIDADES LUGEON	
1.70	17.5			ESQUISTOS VERDES		0	10	CAJON	0	0		100	DIAGRAMA U.L. CALCULADO a 10 kg	UNIDADES LUGEON	
1.70	17.5			ESQUISTOS COMPLETAMENTE ALTERADOS, CAFE AMARILLENTO, DE ESTRUCTURA VESICULAR EVIDENCIA DE UN PROCESO DE ALTERACION IDROTERMAL		0	10	CAJON	0	0		100	DIAGRAMA U.L. CALCULADO a 10 kg	UNIDADES LUGEON	
1.70	17.5			ARCILLA NEGRA, POR LA DESCOMPOSICION DE LOS ESQUISTOS GENETICOS		0	10	CAJON	0	0		100	DIAGRAMA U.L. CALCULADO a 10 kg	UNIDADES LUGEON	
1.70	17.5			ESQUISTOS CON GRAN CONTENIDO DE SILURIOS, VETILLAS DE CUARZO, LAS FRACTURAS ESTAN OXIDADAS		0	10	CAJON	0	0		100	DIAGRAMA U.L. CALCULADO a 10 kg	UNIDADES LUGEON	
1.70	17.5			ESQUISTOS CLORITICOS, CON VETILLAS DE CUARZO MICHELLEADOS, LAS FRACTURAS ESTAN OXIDADAS. PRESENCIA DE ARCILLA		0	10	CAJON	0	0		100	DIAGRAMA U.L. CALCULADO a 10 kg	UNIDADES LUGEON	
25				ESQUISTO VERDE MICASEO CON Ciertas FRACTURAS OXIDADAS, PRESENCIA DE VETAS, VETILLAS DE CUARZO		0	10	CAJON	0	0		100	DIAGRAMA U.L. CALCULADO a 10 kg	UNIDADES LUGEON	

SECO  
15/12/93

SECO  
15/12/93



MICROFILIGADOS, LAS FRACTURAS ESTAN OXIDADAS PRESENCIA DE ARCILLA

25

26.35

15/12/93

REVESTIMIENTO NW

30.35

15/12/93

32.05

17/12/93

35

40.10

19/12/93

43.20

19/12/93

45

ROTACION 0 NO

ESQUISTO VERDE MICASEO CON CIERTAS FRACTURAS OXIDADAS, PRESENCIA DE VETAS, VETILLAS DE CUARZO

ESQUISTO VERDE CON VETAS DE CUARZO LIGERO CONTENIDO DE CARBONATO VETILLAS DE CUARZO MI-CROPLEGADO

PROCESO DE ALTERACION HIDROTHERMAL ELEVADO ESQUISTOS MICACEOS, OXIDADOS, GRF

ESQUISTOS GRAFITICOS

ESQUISTO MICACEO-CUARCITICO

ALTERACION (A)

1 5 ROCA SANA  
2 4 ROCA POCA ALTERADA  
3 3 ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA  
4 4 ROCA MUY ALTERADA  
5 1 ROCA TOTALMENTE ALTERADA

FRACTURACION (F)

1 ROCA MACIZA < 1  
2 ROCA FRACTURADA 1-5  
3 ROCA MUY FRACTURADA 6-10  
4 ROCA EXTREMADAMENTE FRACT. 11-20  
5 ROCA FRAGMENTADA > 20

R.Q.D. (%)

1 100-91 EXCELENTE  
2 90-76 BUENA  
3 75-51 REGULAR  
4 50-25 MALA  
5 25-0 PESIMA

CONSERVACIONES: EL ANGULO DE LAS FRACTURAS ES RESPECTO A LA HORIZONTAL Y CORRESPONDE A LAS DE MAYOR FRECUENCIA EN ESE TRAMO

DE: 0°-30° SON HORIZONTALES Y/O SUBHORIZONTALES  
30°-60° INCLINADAS  
60°-90° VERTICALES Y/O SUBVERTICALES

XX X VETAS DE CUARZO

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION  
PROYECTO: PUENTE  
DESPLIZAMIENTO GUARUMALES  
INCLINOMETRO PI-3  
FECHA: DICIEMBRE 1993







SECO  
12/01/94

75

80

SECO  
14/01/94

80

85

SECO  
16/01/94

85

87.40

79.60

90

89.65

SECO  
24/01/94

90

NIVEL DE SUELO ARENO-  
SO COLOR AMARILLENTO.  
PRODUCTO DE LA ALTERA-  
CION DE LA ROCA ?

ESQUISTO CUARCITICO AL-  
TAMENTE FRACTURADO Y  
ALTERADO

FIN DEL SONDEO

ALTERACION (A)	
1	ROCA SANA
2	ROCA POCO ALTERADA
3	ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA
4	ROCA MUY ALTERADA
5	ROCA TOTALMENTE ALTERADA

FRACTURACION (F)	
1	ROCA MACIZA < 1
2	ROCA FRACTURADA 1-5
3	ROCA MUY FRACTURADA 6-10
4	ROCA EXTREMADAM. FRAC. 11-20
5	ROCA FRAGMENTADA > 20

R.Q.D. (%)	
1	100-91 EXCELENTE
2	90-76 BUENA
3	75-51 REGULAR
4	50-26 MALA
5	25-0 PESIMA

RECOMENDACIONES : EL RENDIMIENTO DE LAS FRACTURAS EN RESPECTO A LA  
HORIZONTAL Y CORRESPONDE A LA ALTA DE MAYOR FRECUENCIA  
EN ESE TRAMO.

DE : 0° - 30° SON HORIZONTALES Y/O SUBHORIZONTALES  
30° - 60° INCLINADAS  
60° - 90° VERTICALES Y/O SUBVERTICALES

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION

PROYECTO: ...

ESTACION: ...

INDICADOR: ...

FECHA: ...

XXV VETAS DE CUARTZO



DIVISION DE INGENIERIA  
GEOTECNICA

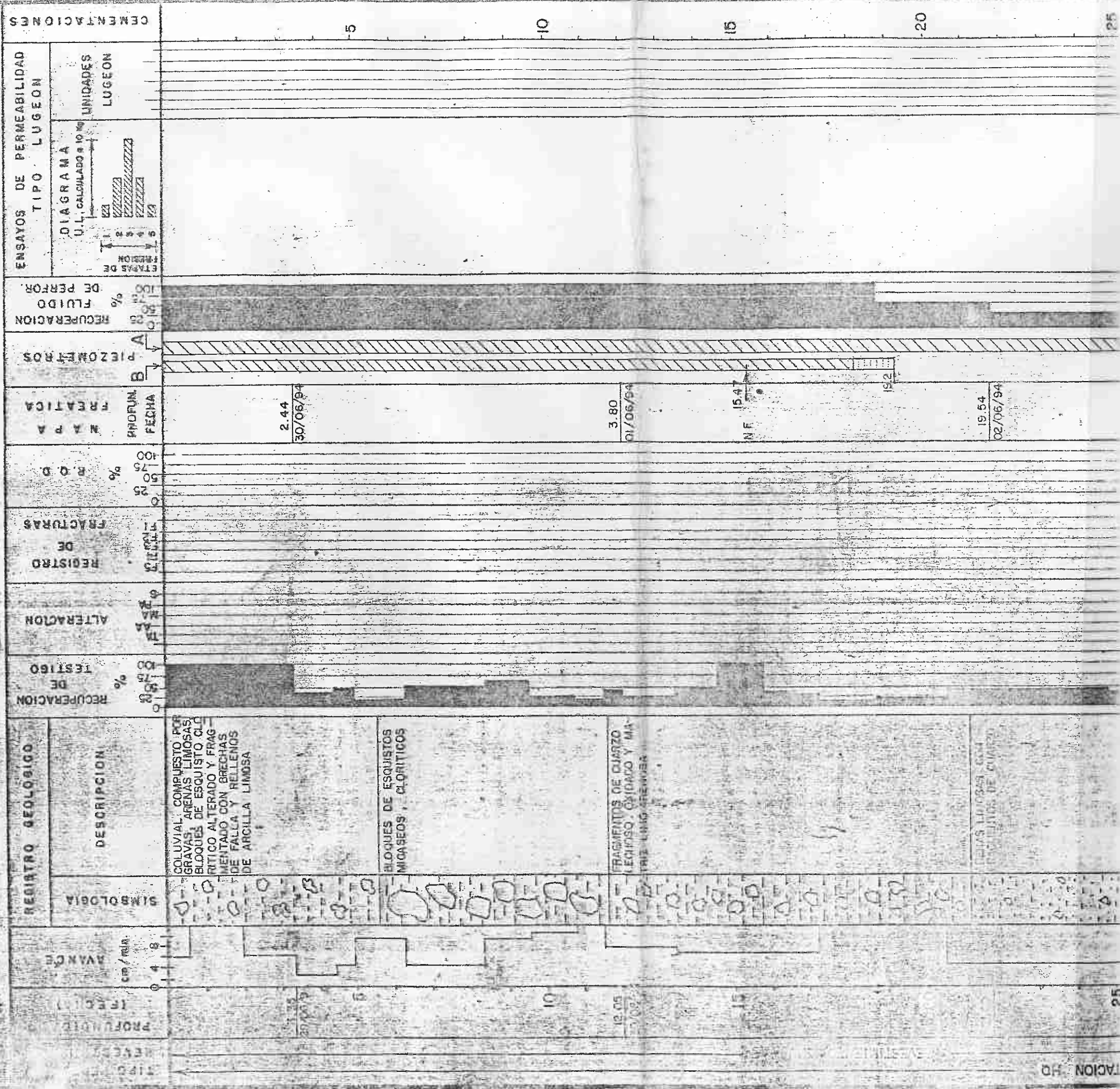
INVESTIGACIONES: PERFORACIONES  
REGISTRO DE SONDEO EN ROCA

TANQUES DE AGUA  
LONGYEAR Nº 38

SONDEO PP-4 COORDENADAS: N E COTA m. s. n. m.  
PROFUNDIDAD 9000 m. DIRECCION INCLINACION 0° de lo vert.

DE SONDEO W. Coronel  
Revisado por: L. J.

FECHA INICIACION 24/06/94 FECHA TERMINACION 09/07/94  
Aprobado por: hoja 1 de 2

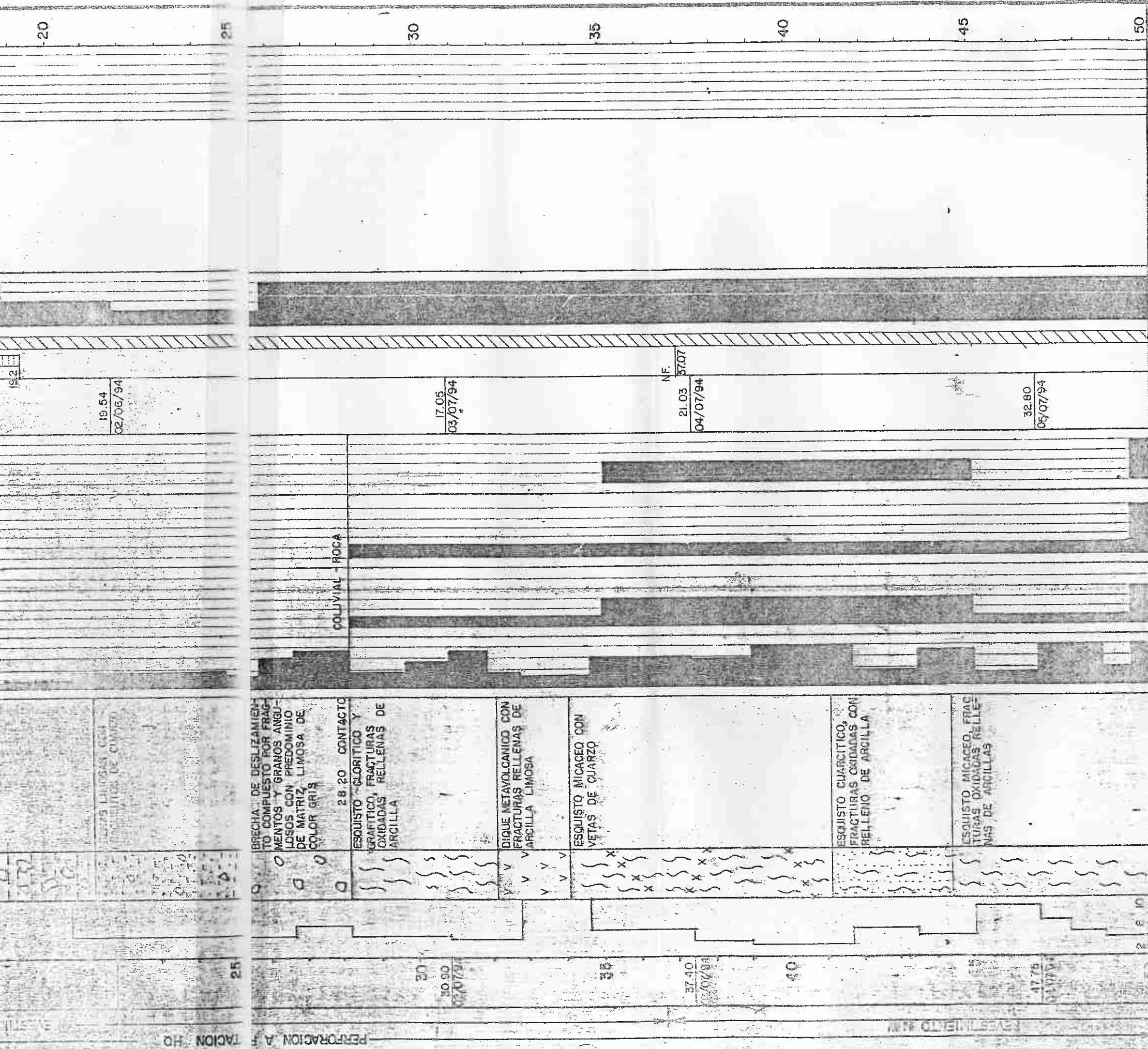


PERFORACION A F  
BRECHA DE DESLIZAMIENTO COMPUESTO POR FRAGMENTOS Y GRANOS ANGULOSOS CON PREDOMINIO DE MATRIZ LIMOSA DE COLOR GRIS  
28.20 CONTACTO  
ESQUISTO CLORITICO Y GRAFITICO, FRACTURAS OXIDADAS, RELLENAS DE ARCILLA

COLUVIAL - ROCA

17.05  
03/07/94





ALTERACION (A)		FRACTURACION (F)
1	S ROCA SANA	ROCA MACIZA < 1
2	PA ROCA POCO ALTERADA	ROCA FRACTURADA 1-5
3	MA ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA	ROCA MUY FRACTURADA 6-10
4	AA ROCA MUY ALTERADA	ROCA EXTREMADAM. FRACT. 11-20
5	TA-ROCA TOTALMENTE ALTERADA	ROCA FRAGMENTADA > 20

	R. Q. D. (%)	
1	100 - 91	EXCELENTE
2	90 - 76	BUENA
3	75 - 51	REGULAR
4	50 - 26	MALA
5	25 - 0	PESIMA

EL ABUJO DE LAS FRACTURAS ES RESPECTO A LA HORIZONTAL Y CORRESPONDE A LAS DE MAYOR FRECUENCIA EN ESE TRAMO.

05° - 0° - 30° SON HORIZONTALES Y/O SUBHORIZONTALES  
30° - 60° INCLINADAS  
60° - 90° VERTICALES Y/O SUBVERTICALES

XXX VERAS DE CUARZO

RESEARCH FRONT MOVEMENTS IN ROMANIA	7	1997
-------------------------------------	---	------





DIVISION DE INGENIERIA  
GEOTECNICA

INVESTIGACIONES PERFORACIONES  
REGISTRO DE SONDEO EN ROCA

SITIO: TANQUES DE AGUA -- SONDEO -- PP-4 -- COORDENADAS: N -- E -- COTA -- m s.n.m. --  
SONDA: LONGYEAR N° 38 -- PROFUNDIDAD 90.0 m -- DIRECCION -- INCLINACION 0° -- de la vert. --  
JEFE DE SONDEO: W. Coronel -- FECHA INICIACION 24/06/94 -- FECHA TERMINACION 09/07/94 --  
Registrado por: Ing. L. Jorjín -- Revisado por: -- Aprobado por: -- hoja 2 de 2

Firmas:

TIPO PERFORACION	PROFUNDIDAD (m)	AVANCE (cm/min)	REGISTRO GEOLOGICO		RECUPERACION DE TESTIGO (%)	ALTERACION	REGISTRO DE FRACTURAS	FUGA DE AGUA (%)	FREATICA	RECUPERACION DE FLUIDO (%)	ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGERON	UNIDADES LUGERON	CIMENTACIONES
			DESCRIPCION	ESQUEMA									
	55	0.4	REGUISTO CUARCITICO CON VETAS DE CUARZO LECHO SO, FRACTURAS RELLENAS DE OXIDO Y ARCILLA.		100	34%							55
	58.55	0.4							32.85				60
	60	0.4	ESQUELITO CLORITICO Y GRAFITICO CON VETAS DE CUARZO LECHO SO, FRACTURAS RELLENAS SUPRANGULARES						06/07/94				60
	63.25	0.4							30.85				65
	69	0.4							07/07/94				65
	70	0.4	ESQUELITO MICASADO Y GRAFITICO CON VETAS DE CUARZO, FRACTURAS RELLENAS DE OXIDO Y ARCILLA										70
	75	0.4											75

ROTACION A DIAMANTE Ø NO

77.10  
07/07/94

37.20  
08/07/94



72.0

12.

75-

88

10

16/20/50

FIN DEL SONDEO

9

0122

37.20

56.20  
08/07/94

8450

0082

38.00  
09/07/94

LEND A

### ALTERACION (A)

WULA BANA

FOIA b 7 - D

THE LUNA CELLFANALYTIC ALTERNATIVE

ALTERNOS

FRAC TURA TION

MOCA MACIZA

RUCA FRACTURADA

NUCA MUY FRACTURADA 5-10

HOJA EXTREMADA. FOLIO 20

Time (h)	Yield (%)
0	0
1	10
2	25
3	45
4	65
5	80
6	90
7	95
8	98
9	100

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100. 101. 102. 103. 104. 105. 106. 107. 108. 109. 110. 111. 112. 113. 114. 115. 116. 117. 118. 119. 120. 121. 122. 123. 124. 125. 126. 127. 128. 129. 130. 131. 132. 133. 134. 135. 136. 137. 138. 139. 140. 141. 142. 143. 144. 145. 146. 147. 148. 149. 150. 151. 152. 153. 154. 155. 156. 157. 158. 159. 160. 161. 162. 163. 164. 165. 166. 167. 168. 169. 170. 171. 172. 173. 174. 175. 176. 177. 178. 179. 180. 181. 182. 183. 184. 185. 186. 187. 188. 189. 190. 191. 192. 193. 194. 195. 196. 197. 198. 199. 200. 201. 202. 203. 204. 205. 206. 207. 208. 209. 210. 211. 212. 213. 214. 215. 216. 217. 218. 219. 220. 221. 222. 223. 224. 225. 226. 227. 228. 229. 230. 231. 232. 233. 234. 235. 236. 237. 238. 239. 240. 241. 242. 243. 244. 245. 246. 247. 248. 249. 250. 251. 252. 253. 254. 255. 256. 257. 258. 259. 260. 261. 262. 263. 264. 265. 266. 267. 268. 269. 270. 271. 272. 273. 274. 275. 276. 277. 278. 279. 280. 281. 282. 283. 284. 285. 286. 287. 288. 289. 290. 291. 292. 293. 294. 295. 296. 297. 298. 299. 300. 301. 302. 303. 304. 305. 306. 307. 308. 309. 310. 311. 312. 313. 314. 315. 316. 317. 318. 319. 320. 321. 322. 323. 324. 325. 326. 327. 328. 329. 330. 331. 332. 333. 334. 335. 336. 337. 338. 339. 340. 341. 342. 343. 344. 345. 346. 347. 348. 349. 350. 351. 352. 353. 354. 355. 356. 357. 358. 359. 360. 361. 362. 363. 364. 365. 366. 367. 368. 369. 370. 371. 372. 373. 374. 375. 376. 377. 378. 379. 380. 381. 382. 383. 384. 385. 386. 387. 388. 389. 390. 391. 392. 393. 394. 395. 396. 397. 398. 399. 400. 401. 402. 403. 404. 405. 406. 407. 408. 409. 410. 411. 412. 413. 414. 415. 416. 417. 418. 419. 420. 421. 422. 423. 424. 425. 426. 427. 428. 429. 430. 431. 432. 433. 434. 435. 436. 437. 438. 439. 440. 441. 442. 443. 444. 445. 446. 447. 448. 449. 450. 451. 452. 453. 454. 455. 456. 457. 458. 459. 460. 461. 462. 463. 464. 465. 466. 467. 468. 469. 470. 471. 472. 473. 474. 475. 476. 477. 478. 479. 480. 481. 482. 483. 484. 485. 486. 487. 488. 489. 490. 491. 492. 493. 494. 495. 496. 497. 498. 499. 500. 501. 502. 503. 504. 505. 506. 507. 508. 509. 510. 511. 512. 513. 514. 515. 516. 517. 518. 519. 520. 521. 522. 523. 524. 525. 526. 527. 528. 529. 530. 531. 532. 533. 534. 535. 536. 537. 538. 539. 540. 541. 542. 543. 544. 545. 546. 547. 548. 549. 550. 551. 552. 553. 554. 555. 556. 557. 558. 559. 560. 561. 562. 563. 564. 565. 566. 567. 568. 569. 570. 571. 572. 573. 574. 575. 576. 577. 578. 579. 580. 581. 582. 583. 584. 585. 586. 587. 588. 589. 590. 591. 592. 593. 594. 595. 596. 597. 598. 599. 600. 601. 602. 603. 604. 605. 606. 607. 608. 609. 610. 611. 612. 613. 614. 615. 616. 617. 618. 619. 620. 621. 622. 623. 624. 625. 626. 627. 628. 629. 630. 631. 632. 633. 634. 635. 636. 637. 638. 639. 640. 641. 642. 643. 644. 645. 646. 647. 648. 649. 650. 651. 652. 653. 654. 655. 656. 657. 658. 659. 660. 661. 662. 663. 664. 665. 666. 667. 668. 669. 670. 671. 672. 673. 674. 675. 676. 677. 678. 679. 680. 681. 682. 683. 684. 685. 686. 687. 688. 689. 690. 691. 692. 693. 694. 695. 696. 697. 698. 699. 700. 701. 702. 703. 704. 705. 706. 707. 708. 709. 710. 711. 712. 713. 714. 715. 716. 717. 718. 719. 720. 721. 722. 723. 724. 725. 726. 727. 728. 729. 730. 731. 732. 733. 734. 735. 736. 737. 738. 739. 740. 741. 742. 743. 744. 745. 746. 747. 748. 749. 750. 751. 752. 753. 754. 755. 756. 757. 758. 759. 760. 761. 762. 763. 764. 765. 766. 767. 768. 769. 770. 771. 772. 773. 774. 775. 776. 777. 778. 779. 780. 781. 782. 783. 784. 785. 786. 787. 788. 789. 790. 791. 792. 793. 794. 795. 796. 797. 798. 799. 800. 801. 802. 803. 804. 805. 806. 807. 808. 809. 810. 811. 812. 813. 814. 815. 816. 817. 818. 819. 820. 821. 822. 823. 824. 825. 826. 827. 828. 829. 830. 831. 832. 833. 834. 835. 836. 837. 838. 839. 840.

100

WILLIAM

6634

OBSERVACIONES:

EL ANGULO DE LAS FRANTURAS ES DIRECTO A LA

COPIES OF THE HORIZONTALS AND VERTICALS

NOV 20 1966

NOV 20 1966

NOV 20 1966

XXX VETAS DE CUARZO

SECRET

PROFESSOR F. A. B. T.

## DECLIVAMENTO CUARUMALES

CONFIDENTIAL

NOVA CORP.

FIG. 1. 1100

1. 1942-1943 - 1944-1945 - 1946-1947 - 1948-1949 - 1950-1951 - 1952-1953 - 1954-1955 - 1956-1957 - 1958-1959 - 1960-1961 - 1962-1963 - 1964-1965 - 1966-1967 - 1968-1969 - 1970-1971 - 1972-1973 - 1974-1975 - 1976-1977 - 1978-1979 - 1980-1981 - 1982-1983 - 1984-1985 - 1986-1987 - 1988-1989 - 1990-1991 - 1992-1993 - 1994-1995 - 1996-1997 - 1998-1999 - 2000-2001 - 2002-2003 - 2004-2005 - 2006-2007 - 2008-2009 - 2010-2011 - 2012-2013 - 2014-2015 - 2016-2017 - 2018-2019 - 2020-2021 - 2022-2023 - 2024-2025 - 2026-2027 - 2028-2029 - 2030-2031 - 2032-2033 - 2034-2035 - 2036-2037 - 2038-2039 - 2040-2041 - 2042-2043 - 2044-2045 - 2046-2047 - 2048-2049 - 2050-2051 - 2052-2053 - 2054-2055 - 2056-2057 - 2058-2059 - 2060-2061 - 2062-2063 - 2064-2065 - 2066-2067 - 2068-2069 - 2070-2071 - 2072-2073 - 2074-2075 - 2076-2077 - 2078-2079 - 2080-2081 - 2082-2083 - 2084-2085 - 2086-2087 - 2088-2089 - 2090-2091 - 2092-2093 - 2094-2095 - 2096-2097 - 2098-2099 - 2100-2101 - 2102-2103 - 2104-2105 - 2106-2107 - 2108-2109 - 2110-2111 - 2112-2113 - 2114-2115 - 2116-2117 - 2118-2119 - 2120-2121 - 2122-2123 - 2124-2125 - 2126-2127 - 2128-2129 - 2130-2131 - 2132-2133 - 2134-2135 - 2136-2137 - 2138-2139 - 2140-2141 - 2142-2143 - 2144-2145 - 2146-2147 - 2148-2149 - 2150-2151 - 2152-2153 - 2154-2155 - 2156-2157 - 2158-2159 - 2160-2161 - 2162-2163 - 2164-2165 - 2166-2167 - 2168-2169 - 2170-2171 - 2172-2173 - 2174-2175 - 2176-2177 - 2178-2179 - 2180-2181 - 2182-2183 - 2184-2185 - 2186-2187 - 2188-2189 - 2190-2191 - 2192-2193 - 2194-2195 - 2196-2197 - 2198-2199 - 2200-2201 - 2202-2203 - 2204-2205 - 2206-2207 - 2208-2209 - 2210-2211 - 2212-2213 - 2214-2215 - 2216-2217 - 2218-2219 - 2220-2221 - 2222-2223 - 2224-2225 - 2226-2227 - 2228-2229 - 2230-2231 - 2232-2233 - 2234-2235 - 2236-2237 - 2238-2239 - 2240-2241 - 2242-2243 - 2244-2245 - 2246-2247 - 2248-2249 - 2250-2251 - 2252-2253 - 2254-2255 - 2256-2257 - 2258-2259 - 2260-2261 - 2262-2263 - 2264-2265 - 2266-2267 - 2268-2269 - 2270-2271 - 2272-2273 - 2274-2275 - 2276-2277 - 2278-2279 - 2280-2281 - 2282-2283 - 2284-2285 - 2286-2287 - 2288-2289 - 2290-2291 - 2292-2293 - 2294-2295 - 2296-2297 - 2298-2299 - 2300-2301 - 2302-2303 - 2304-2305 - 2306-2307 - 2308-2309 - 2310-2311 - 2312-2313 - 2314-2315 - 2316-2317 - 2318-2319 - 2320-2321 - 2322-2323 - 2324-2325 - 2326-2327 - 2328-2329 - 2330-2331 - 2332-2333 - 2334-2335 - 2336-2337 - 2338-2339 - 2340-2341 - 2342-2343 - 2344-2345 - 2346-2347 - 2348-2349 - 2350-2351 - 2352-2353 - 2354-2355 - 2356-2357 - 2358-2359 - 2360-2361 - 2362-2363 - 2364-2365 - 2366-2367 - 2368-2369 - 2370-2371 - 2372-2373 - 2374-2375 - 2376-2377 - 2378-2379 - 2380-2381 - 2382-2383 - 2384-2385 - 2386-2387 - 2388-2389 - 2390-2391 - 2392-2393 - 2394-2395 - 2396-2397 - 2398-2399 - 2400-2401 - 2402-2403 - 2404-2405 - 2406-2407 - 2408-2409 - 2410-2411 - 2412-2413 - 2414-2415 - 2416-2417 - 2418-2419 - 2420-2421 - 2422-2423 - 2424-2425 - 2426-2427 - 2428-2429 - 2430-2431 - 2432-2433 - 2434-2435 - 2436-2437 - 2438-2439 - 2440-2441 - 2442-2443 - 2444-2445 - 2446-2447 - 2448-2449 - 2450-2451 - 2452-2453

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100. 101. 102. 103. 104. 105. 106. 107. 108. 109. 110. 111. 112. 113. 114. 115. 116. 117. 118. 119. 120. 121. 122. 123. 124. 125. 126. 127. 128. 129. 130. 131. 132. 133. 134. 135. 136. 137. 138. 139. 140. 141. 142. 143. 144. 145. 146. 147. 148. 149. 150. 151. 152. 153. 154. 155. 156. 157. 158. 159. 160. 161. 162. 163. 164. 165. 166. 167. 168. 169. 170. 171. 172. 173. 174. 175. 176. 177. 178. 179. 180. 181. 182. 183. 184. 185. 186. 187. 188. 189. 190. 191. 192. 193. 194. 195. 196. 197. 198. 199. 200. 201. 202. 203. 204. 205. 206. 207. 208. 209. 210. 211. 212. 213. 214. 215. 216. 217. 218. 219. 220. 221. 222. 223. 224. 225. 226. 227. 228. 229. 230. 231. 232. 233. 234. 235. 236. 237. 238. 239. 240. 241. 242. 243. 244. 245. 246. 247. 248. 249. 250. 251. 252. 253. 254. 255. 256. 257. 258. 259. 260. 261. 262. 263. 264. 265. 266. 267. 268. 269. 270. 271. 272. 273. 274. 275. 276. 277. 278. 279. 280. 281. 282. 283. 284. 285. 286. 287. 288. 289. 290. 291. 292. 293. 294. 295. 296. 297. 298. 299. 300. 301. 302. 303. 304. 305. 306. 307. 308. 309. 310. 311. 312. 313. 314. 315. 316. 317. 318. 319. 320. 321. 322. 323. 324. 325. 326. 327. 328. 329. 330. 331. 332. 333. 334. 335. 336. 337. 338. 339. 340. 341. 342. 343. 344. 345. 346. 347. 348. 349. 350. 351. 352. 353. 354. 355. 356. 357. 358. 359. 360. 361. 362. 363. 364. 365. 366. 367. 368. 369. 370. 371. 372. 373. 374. 375. 376. 377. 378. 379. 380. 381. 382. 383. 384. 385. 386. 387. 388. 389. 390. 391. 392. 393. 394. 395. 396. 397. 398. 399. 400. 401. 402. 403. 404. 405. 406. 407. 408. 409. 410. 411. 412. 413. 414. 415. 416. 417. 418. 419. 420. 421. 422. 423. 424. 425. 426. 427. 428. 429. 430. 431. 432. 433. 434. 435. 436. 437. 438. 439. 440. 441. 442. 443. 444. 445. 446. 447. 448. 449. 450. 451. 452. 453. 454. 455. 456. 457. 458. 459. 460. 461. 462. 463. 464. 465. 466. 467. 468. 469. 470. 471. 472. 473. 474. 475. 476. 477. 478. 479. 480. 481. 482. 483. 484. 485. 486. 487. 488. 489. 490. 491. 492. 493. 494. 495. 496. 497. 498. 499. 500. 501. 502. 503. 504. 505. 506. 507. 508. 509. 510. 511. 512. 513. 514. 515. 516. 517. 518. 519. 520. 521. 522. 523. 524. 525. 526. 527. 528. 529. 530. 531. 532. 533. 534. 535. 536. 537. 538. 539. 540. 541. 542. 543. 544. 545. 546. 547. 548. 549. 550. 551. 552. 553. 554. 555. 556. 557. 558. 559. 560. 561. 562. 563. 564. 565. 566. 567. 568. 569. 570. 571. 572. 573. 574. 575. 576. 577. 578. 579. 580. 581. 582. 583. 584. 585. 586. 587. 588. 589. 590. 591. 592. 593. 594. 595. 596. 597. 598. 599. 600. 601. 602. 603. 604. 605. 606. 607. 608. 609. 610. 611. 612. 613. 614. 615. 616. 617. 618. 619. 620. 621. 622. 623. 624. 625. 626. 627. 628. 629. 630. 631. 632. 633. 634. 635. 636. 637. 638. 639. 640. 641. 642. 643. 644. 645. 646. 647. 648. 649. 650. 651. 652. 653. 654. 655. 656. 657. 658. 659. 660. 661. 662. 663. 664. 665. 666. 667. 668. 669. 670. 671. 672. 673. 674. 675. 676. 677. 678. 679. 680. 681. 682. 683. 684. 685. 686. 687. 688. 689. 690. 691. 692. 693. 694. 695. 696. 697. 698. 699. 700. 701. 702. 703. 704. 705. 706. 707. 708. 709. 710. 711. 712. 713. 714. 715. 716. 717. 718. 719. 720. 721. 722. 723. 724. 725. 726. 727. 728. 729. 730. 731. 732. 733. 734. 735. 736. 737. 738. 739. 740. 741. 742. 743. 744. 745. 746. 747. 748. 749. 750. 751. 752. 753. 754. 755. 756. 757. 758. 759. 760. 761. 762. 763. 764. 765. 766. 767. 768. 769. 770. 771. 772. 773. 774. 775. 776. 777. 778. 779. 780. 781. 782. 783. 784. 785. 786. 787. 788. 789. 790. 791. 792. 793. 794. 795. 796. 797. 798. 799. 800. 801. 802. 803. 804. 805. 806. 807. 808. 809. 810. 811. 812. 813. 814. 815. 816. 817. 818. 819. 820. 821. 822. 823. 824. 825. 826. 827. 828. 829. 830. 831. 832. 833. 834. 835. 836. 837. 838. 839. 840. 84





DIVISION DE INGENIERIA  
GEOTECNICA

INVESTIGACIONES: PERFORACIONES  
REGISTRO DE SONDEO EN ROCA

SITIO - BOMBEROS SONDEO - PP-2 COORDENADAS: N E COTA - m. s. n. m.  
SONDA - LONGYEAR - 38 PROFUNDIDAD 77.55 m. DIRECCION INCLINACION 0° de la vert.  
JEFE DE SONDEO W. Coronel/J. Vargas FECHA INICIACION 29/01/94 FECHA TERMINACION 11/02/94  
Registrado por: Ing. J.R./S.B. Revisado por: Aprobado por: hoja 1 de 2

| TIPO PERFOR. | PROFUNDIDAD (Metros) | AVANCE (cm/min) | REGISTRO GEOLOGICO |  | ALTERACION DE REGISTRO | FRAC. DE TRACTURAS | F.A.T.B. | PROF. FECHA | RECONSTRUCCION DE PERFOR. | ENSAYOS DE PERMEABILIDAD |                  | CIMENTACIONES |
|--------------|----------------------|-----------------|--------------------|--|------------------------|--------------------|----------|-------------|---------------------------|--------------------------|------------------|---------------|
|              |                      |                 | SIEMBOLICA         | DESCRIPCION  |                        |                    |          |             |                           | TIPO                     | UNIDADES LUGERON |               |
| H.M.         | 9.60                 | 23/01/94        |                    | COLUVAL COMPUETO POR GRAVA DE VARIADA COMPOSICION Y MATRIZ LIMO ARCILLOSA CAFE AMARILLO  |                        |                    |          |             |                           |                          |                  |               |
|              | 15.65                | 31/01/94        |                    | FRAGMENTOS CENTIMETRICOS DE VARIADA COMPOSICION, ESQUISTO, META VOLCANITA, DISTRIBUIDOS EN UNA MATRIZ LIMOSA GRIS VERDOSA A CAFE AMARILLO, CON CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA           |                        |                    |          |             |                           |                          |                  |               |
| H.M.         | 15.65                | 31/01/94        |                    | FRAGMENTOS DECIMETRICOS DE ESQUISTOS MICACEOS SERICITICOS, ALTERADOS CON VETILLAS MICACEAS BANDAS DE CUARZO, PRESENCIA DE ARGILLA, EL ESTADO DE OXIDACION DE LOS FRAGMENTOS ES ELIGADO |                        |                    |          |             |                           |                          |                  |               |
|              | 20                   | 31/01/94        |                    |  |                        |                    |          |             |                           |                          |                  |               |
|              | 24.97                | 31/01/94        |                    |  |                        |                    |          |             |                           |                          |                  |               |

PERFORACION A ROTACION  
51/01/94  
N.F.  
32.17









DIVISION DE INGENIERIA  
GEOTECNICA

INVESTIGACIONES: PERFORACIONES  
REGISTRO DE SONDEO EN ROCA

SITIO: BOMBEROS SONDEO: PP-2 COORDENADAS: N E COTA: m s n m.  
SONDA: LONGYEAR-38 PROFUNDIDAD: 77.55 m DIRECCION: INCLINACION: 0° de la vert.  
JEFE DE SONDEO: W. Coronel/V. Vargas FECHA INICIACION: 29/01/94 FECHA TERMINACION: 11/02/94  
Registrado por: Ing. J. R. / S.B. Revisado por: Aprobado por: hoja 2 de 2

| TIPO PERFOR. | REVESTIMIENTO | PROFUNDIDAD (FECHA) | AVANCE cm/min | REGISTRO GEOLOGICO  | RECUPERACION DE FLORES | ALTERACION | REGISTRO DE FRACTURAS | MAPA              | PIEZOMETROS | RECUPERACION DE FLUIDO | ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO LUQUEON | UNIDADES LUQUEON | CEMENTACIONES |
|--------------|---------------|---------------------|---------------|---|------------------------|------------|-----------------------|-------------------|-------------|------------------------|---------------------------------------|------------------|---------------|
|              |               |                     |               | DESCRIPCION   |                        |            |                       | PROFUND. FECHA    |             |                        |                                       |                  |               |
|              |               | 51.15<br>05/02/94   | 0.36912       | FRAGMENTOS DE METRICOS DE ESQUISTOS MICACEOS CON INCLUSIONES DE CUARZO CENTIMETRICO   |                        |            |                       | 30.67<br>06/02/94 |             |                        |                                       |                  |               |
|              |               | 57.25<br>06/02/94   |               | FRAGMENTOS DE METRICOS DE ESQUISTOS ALTERADOS Y ONDADOS. LOS ESQUISTOS SON MICACEOS Y CUARZO. PRESENCIA DE FRACTURAS EN LAS JUNTAS. |                        |            |                       | 31.55<br>07/02/94 |             |                        |                                       |                  |               |
|              |               | 57.85<br>07/02/94   |               |   |                        |            |                       | 30.70<br>08/02/94 |             |                        |                                       |                  |               |
|              |               | 63.36<br>09/02/94   |               |   |                        |            |                       | 41.85<br>09/02/94 |             |                        |                                       |                  |               |
|              |               | 67.25<br>09/02/94   |               |   |                        |            |                       | 40.35<br>10/02/94 |             |                        |                                       |                  |               |
|              |               | 70.85<br>10/02/94   |               |   |                        |            |                       | 40.80<br>11/02/94 |             |                        |                                       |                  |               |

|    |                   |               |
|----|-------------------|---------------|
| 70 | 77.55<br>11/02/94 | FIN DE SONDEO |
|----|-------------------|---------------|



NOTA: INCLUSIONES DE CUARZO Y ESQUISITOS GRAFICOS EN RAYOS

70  
70.85  
11/02/94

40.80  
11/02/94

70

ESQUISITOS MICACEDOS GRI-

DE CUARZO

70

71.55  
11/02/94

FIN DE SONDEO

LEYENDA

| ALTERACION (A) |                            |
|----------------|----------------------------|
| 1              | ROCA SANA                  |
| 2              | ROCA POCA ALTERADA         |
| 3              | ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA |
| 4              | ROCA MUY ALTERADA          |
| 5              | ROCA TOTALMENTE ALTERADA   |

| FRACTURACION (F) |                              |
|------------------|------------------------------|
| 1                | ROCA MACIZA                  |
| 2                | ROCA FRACTURADA              |
| 3                | ROCA MUY FRACTURADA          |
| 4                | ROCA EXTREMAMENTE FRACTURADA |
| 5                | ROCA FRAGMENTADA             |

| R.Q.D. (%) |        |
|------------|--------|
| 1          | 100-91 |
| 2          | 90-76  |
| 3          | 75-51  |
| 4          | 50-25  |
| 5          | 25-0   |

OBSERVACIONES:

EL ANGULO DE LAS RAYAS ES LA DISTANCIA A LA HORIZONTAL Y CORREGIDA A LA VELOCIDAD DE LA RAYAS

DE 0-30° EN HORIZONTAL Y/O SUBHORIZONTAL  
30-60° EN HORIZONTAL Y/O SUBHORIZONTAL  
60-90° EN HORIZONTAL Y/O SUBHORIZONTAL

INSTITUTO ECUATORIANO DE ELECTRIFICACION  
QUITO, ECUADOR  
PROYECTO T-PAUTE  
DECLIZAMIENTO GUARUMALES  
PIEZOMETRO PP-2  
HOJA 2 DE 2  
EBO 15/100  
DISEÑADO: S. B. - J. P. RECOMENDADO:  
DISEÑADO: S. B. G. APROBADO:  
FECHA: DICIEMBRE 17/94 REP

XXA VETAS DE CUARZO





DIVISION DE INGENIERIA  
GEOTECNICA

INVESTIGACIONES: PERFORACIONES  
REGISTRO DE SONDEO EN ROCA

SITIO PI-7X SONDEO PI-7X COORDENADAS: N E COTA 1 m.s.n.m.  
SONDA LONGYEAR #38 PROFUNDIDAD 90.00 m. DIRECCION 0° INCLINACION 0° de la vert.  
JEFE DE SONDEO B. Vasconez FECHA INICIACION 07/FEBRERO/98 FECHA TERMINACION 28/MARZO/98  
Registrado por: B. Vasconez Revisado por: hoja 2 de 2  
Firmas: Aprobado por:

| TIPO PERFOR. | REVESTIMIENTO | PROFUNDIDAD<br>(FECHA)  | AVANCE<br>cm./min. | REGISTRO GEOLOGICO |  | RECUPERACION<br>DE<br>TESTIGO<br>% | ALTERACION | REGISTRO<br>DE<br>FRATURAS | R.O.D.<br>% | N.A.P.A.          |       | INCLINOMETRO | RECUPERACION<br>%<br>FLUIDO<br>DE PERFOR. | ENSAYOS DE PERMEABILIDAD |                    | CEMENTACIONES |
|--------------|---------------|-------------------------|--------------------|--------------------|--|------------------------------------|------------|----------------------------|-------------|-------------------|-------|--------------|---|--------------------------|--------------------|---------------|
|              |               |                         |                    | SIMBOLOGIA         | DESCRIPCION  |                                    |            |                            |             | PROFUN.           | FECHA |              |   | TIPO                     | UNIDADES<br>LUGEON |               |
| Y            | Y             | 50.00                   |                    |                    | BLOQUES DE ESQUISTO<br>CUARCITICO Y FRACMEN-<br>TOS ANGULOSOS DE CO-<br>LOR GRIS VERDOSO.                                    |                                    |            |                            |             |                   |       |              |   |                          |                    |               |
|              |               | 52.60<br>20/03/98       |                    |                    |  |                                    |            |                            |             | 20.70<br>21/03/98 |       |              |   |                          |                    |               |
|              |               | 55                      |                    |                    |  |                                    |            |                            |             |                   |       |              |   |                          |                    |               |
|              |               | 60.15<br>21/03/98       |                    |                    | BRECHA DE DESLIZAMEN-<br>TO, COLOR GRIS VERDO-<br>SO, CON FRAGMENTOS ME-<br>NORES A 10 m, CONTIE-<br>NE ABUNDANTES SULFUROS. |                                    |            |                            |             | 27.60<br>22/03/98 |       |              |   |                          |                    |               |
|              |               | 65                      |                    |                    |  |                                    |            |                            |             |                   |       |              |   |                          |                    |               |
|              |               | 66.35<br>22/03/98       |                    |                    |  |                                    |            |                            |             | 25.20             |       |              |   |                          |                    |               |
|              |               | 70<br>70.60<br>23/03/98 |                    |                    |  |                                    |            |                            |             |                   |       |              |   |                          |                    |               |
|              |               | 74.55<br>24/03/98       |                    |                    | PREDOMINANCIA DE FRAC-<br>MENTOS DE ESQUISTO<br>GRAFITICOS   |                                    |            |                            |             | 32.50<br>24/03/98 |       |              |   |                          |                    |               |
|              |               | 78.00<br>25/03/98       |                    |                    |  |                                    |            |                            |             |                   |       |              |   |                          |                    |               |

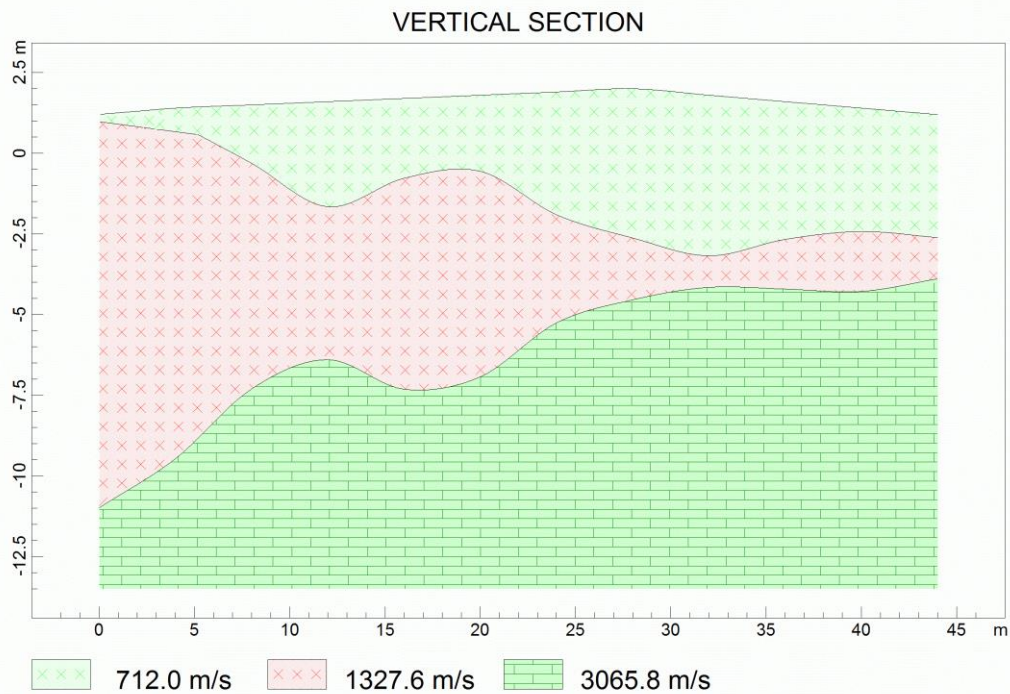
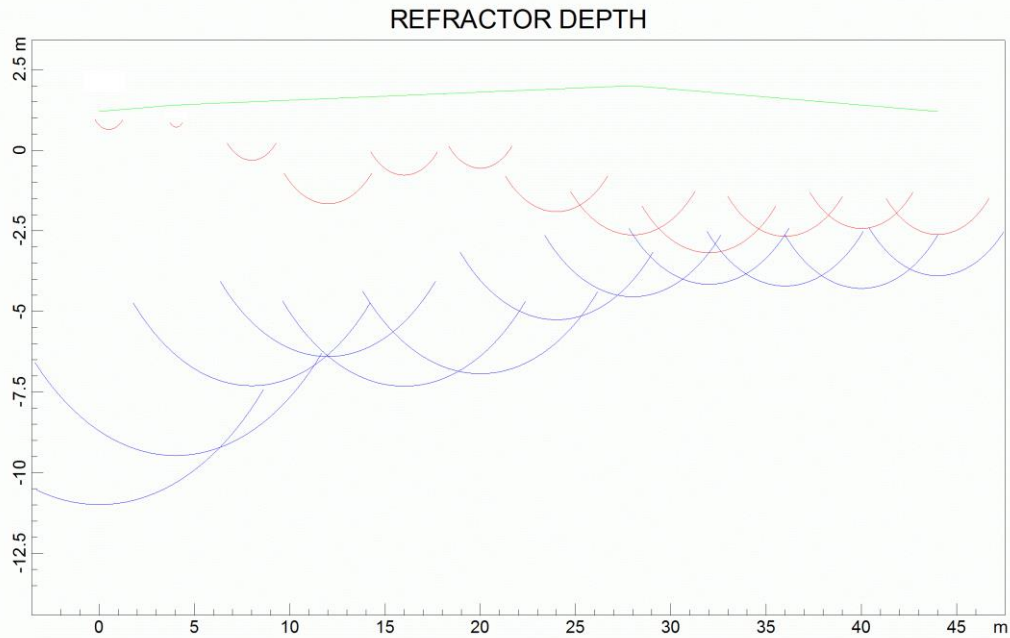
PERFORACION A ROTACION WIRE LINE Ø NO  
REVESTIMIENTO Ø NW



## **ANEXO 3**

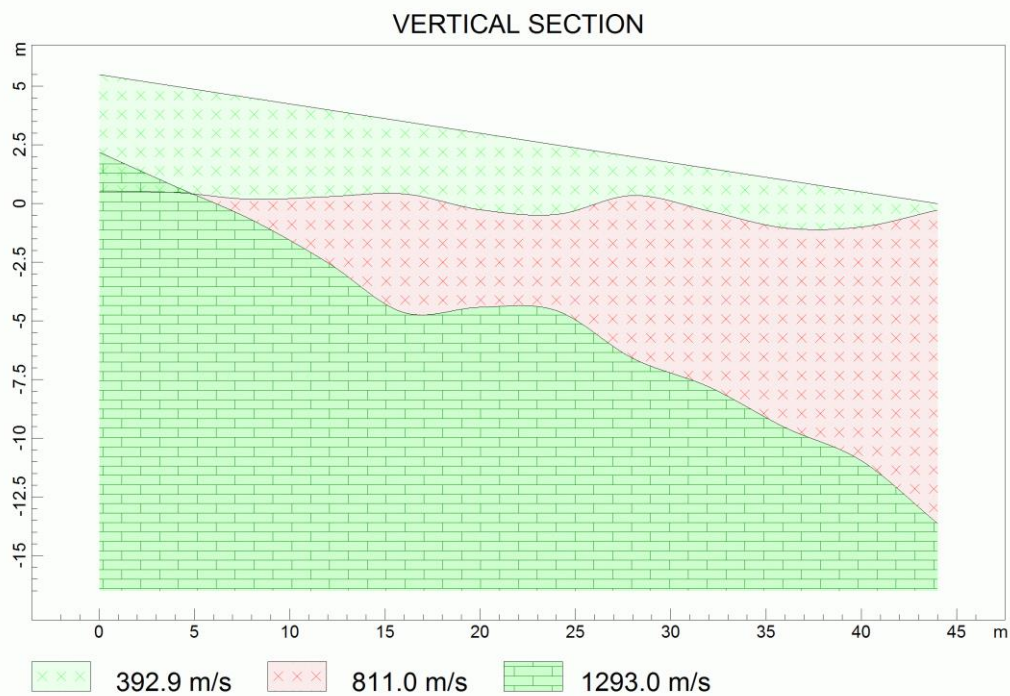
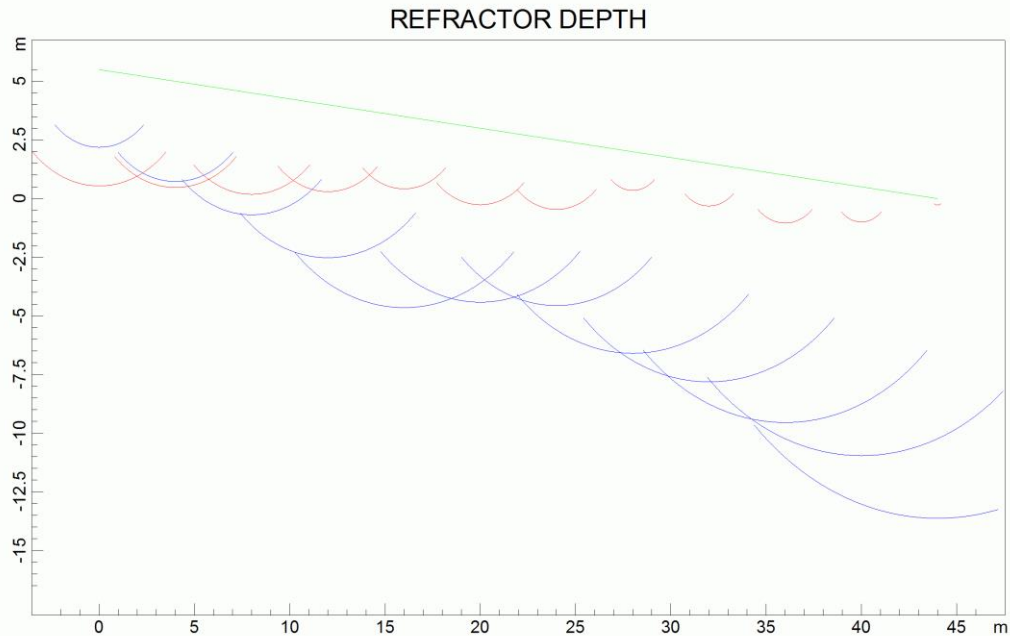
Perfiles sísmicos

ESTUDIO DE GEOLOGIA-GEOFÍSICA-GEOTECNIA: ESTABILIDAD DE TALUDES  
PROYECTO: VÍAS DE ACCESO A LA CASA DE MÁQUINAS\_EL MOLINO  
SECTOR: GUARUMALES      PERFIL SÍSMICO N°: 1

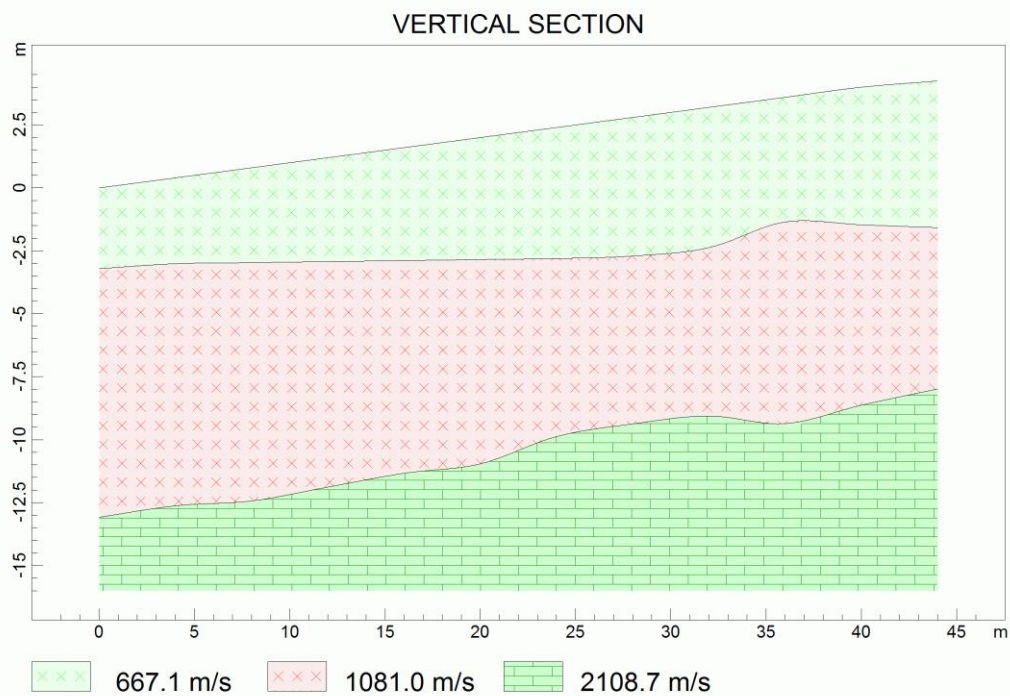
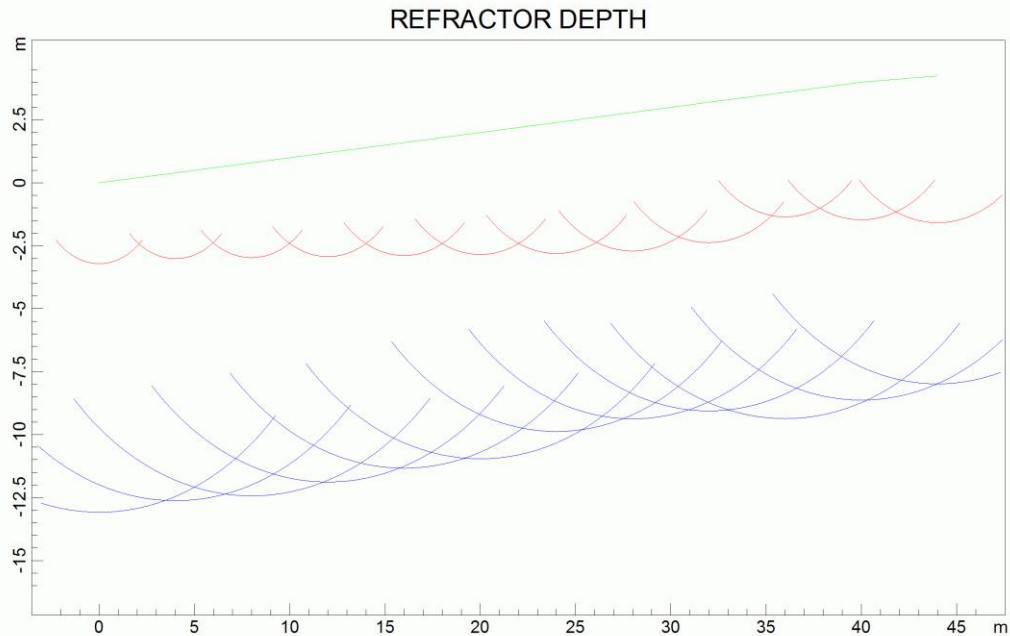




ESTUDIO DE GEOLOGIA-GEOFÍSICA-GEOTECNIA: ESTABILIDAD DE TALUDES  
PROYECTO: VÍAS DE ACCESO A LA CASA DE MÁQUINAS\_EL MOLINO  
SECTOR: GUARUMALES      PERFIL SÍSMICO N°: 3

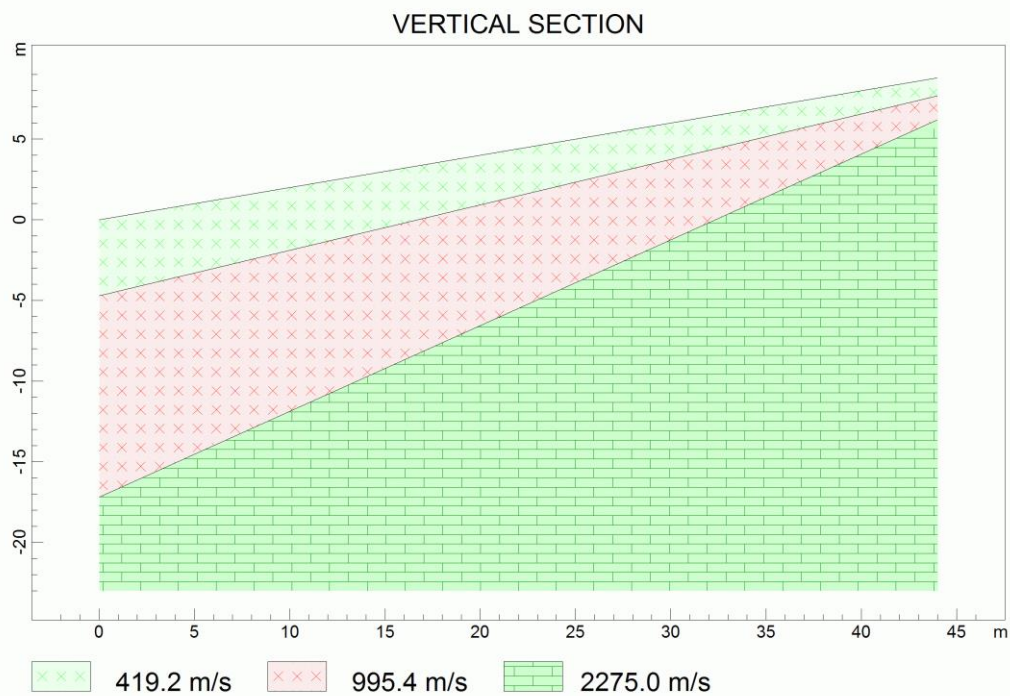
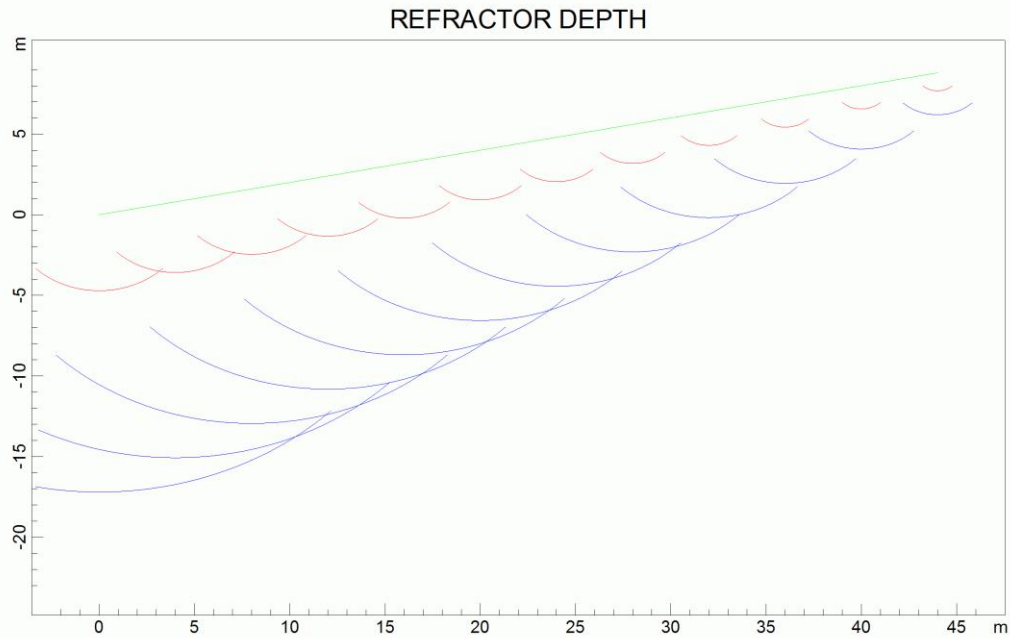


ESTUDIO DE GEOLOGIA-GEOFÍSICA-GEOTECNIA: ESTABILIDAD DE TALUDES  
PROYECTO: VÍAS DE ACCESO A LA CASA DE MÁQUINAS\_EL MOLINO  
SECTOR: GUARUMALES      PERFIL SÍSMICO N°: 4

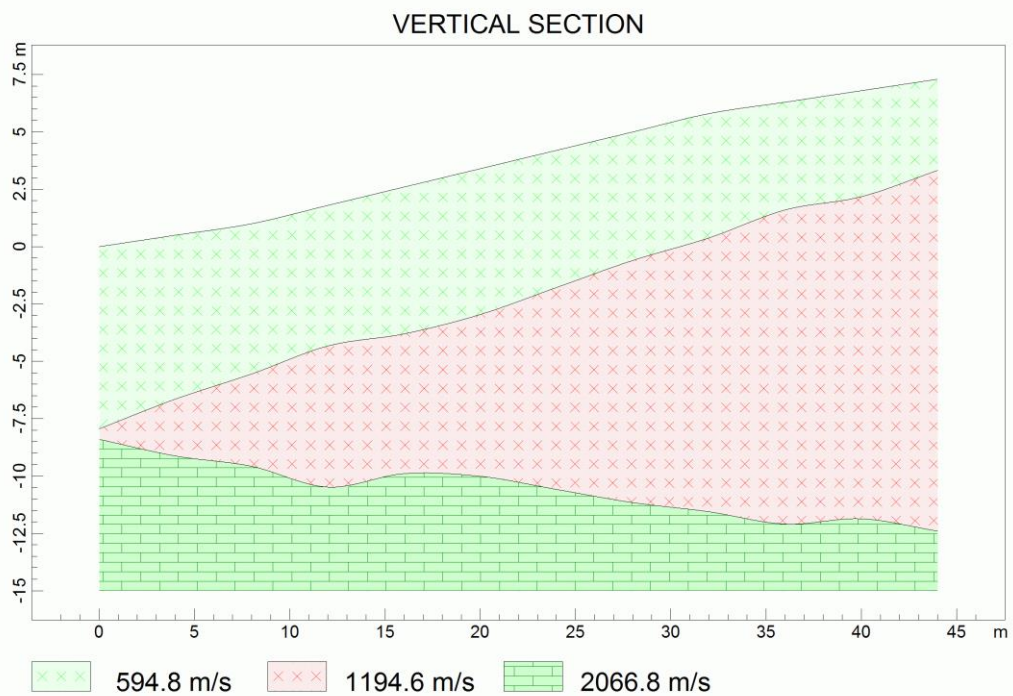
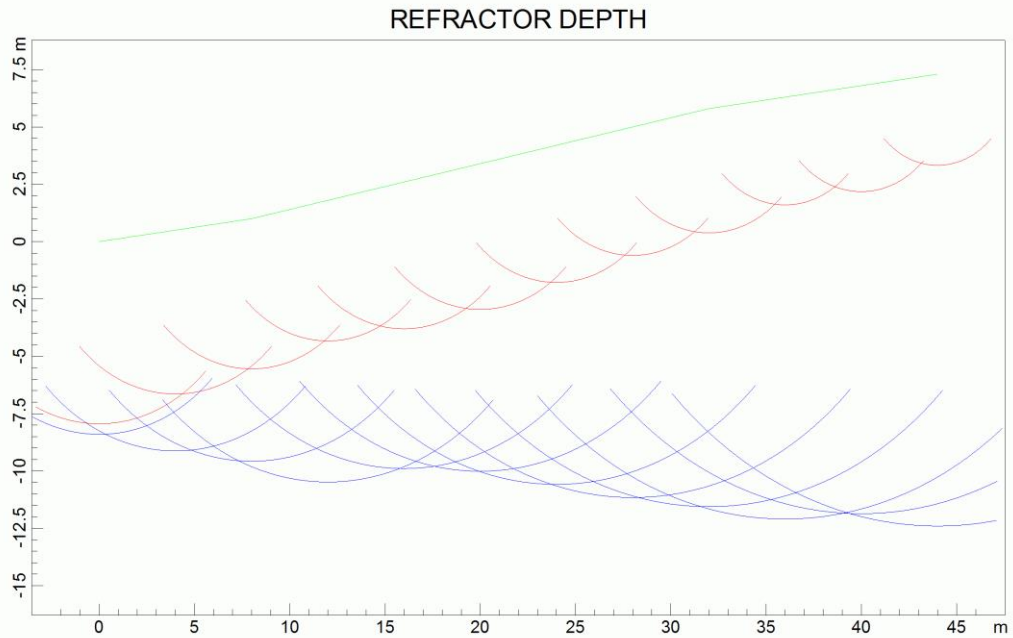




ESTUDIO DE GEOLOGIA-GEOFÍSICA-GEOTECNIA: ESTABILIDAD DE TALUDES  
PROYECTO: VÍAS DE ACCESO A LA CASA DE MÁQUINAS\_EL MOLINO  
SECTOR: GUARUMALES      PERFIL SÍSMICO N°: 5

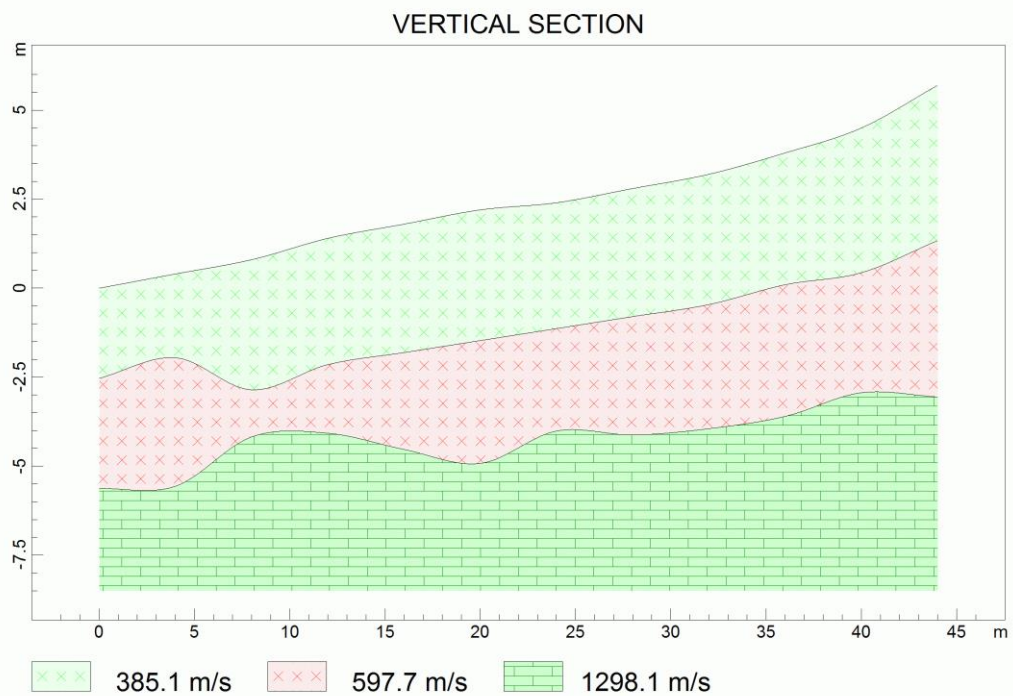
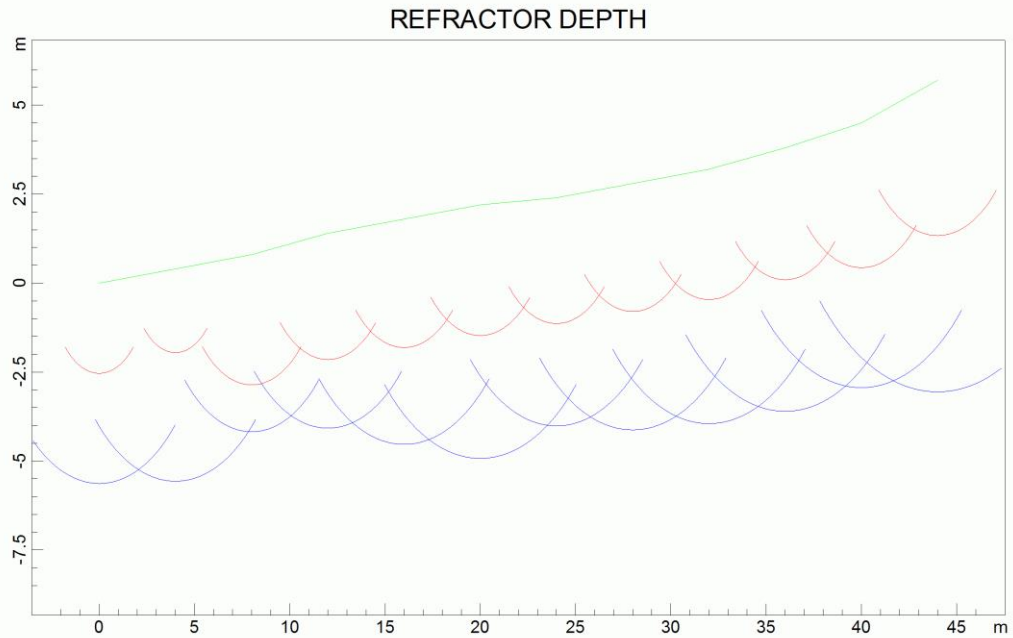


ESTUDIO DE GEOLOGIA-GEOFÍSICA-GEOTECNIA: ESTABILIDAD DE TALUDES  
PROYECTO: VÍAS DE ACCESO A LA CASA DE MÁQUINAS\_EL MOLINO  
SECTOR: GUARUMALES      PERFIL SÍSMICO N°: 6

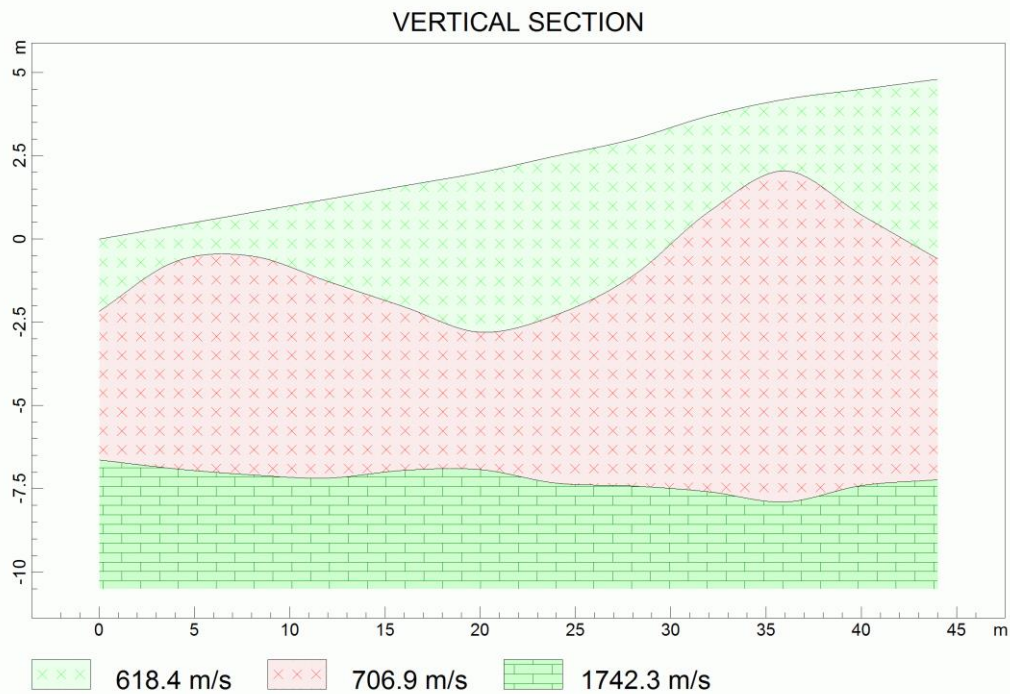
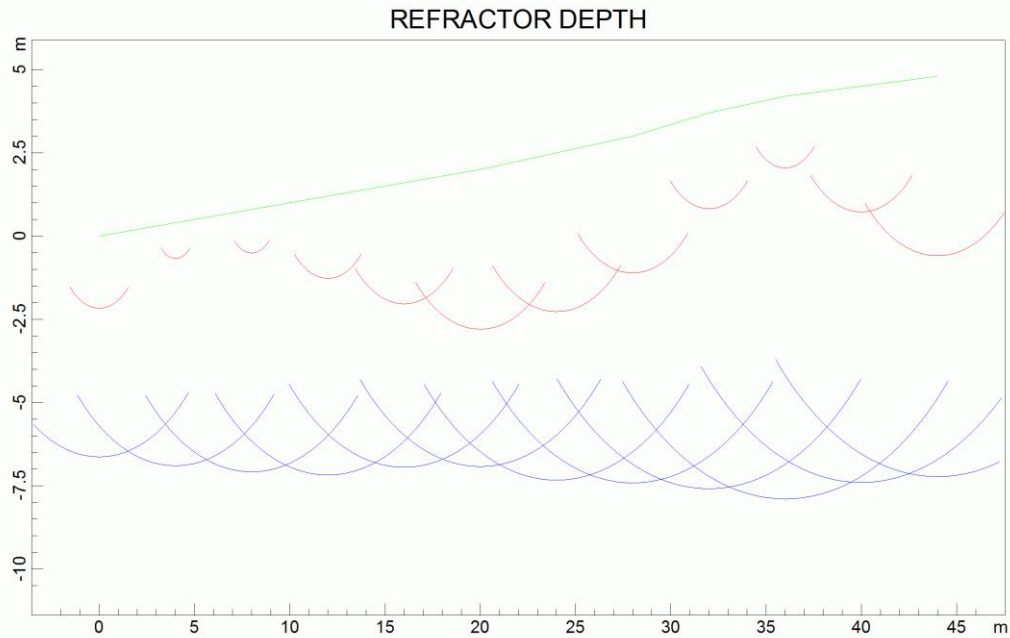




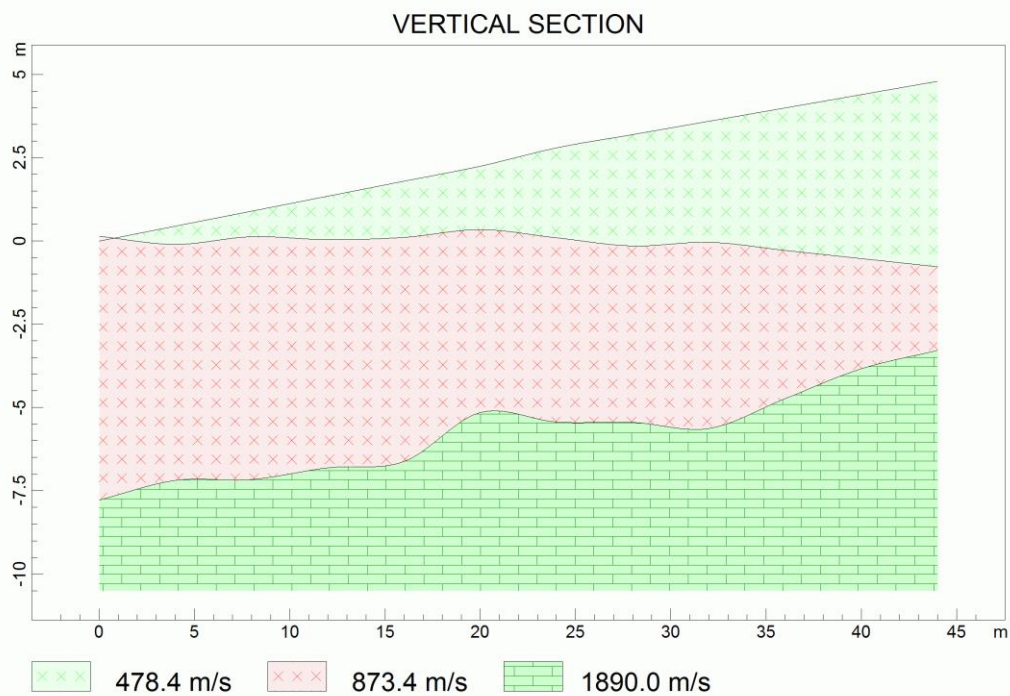
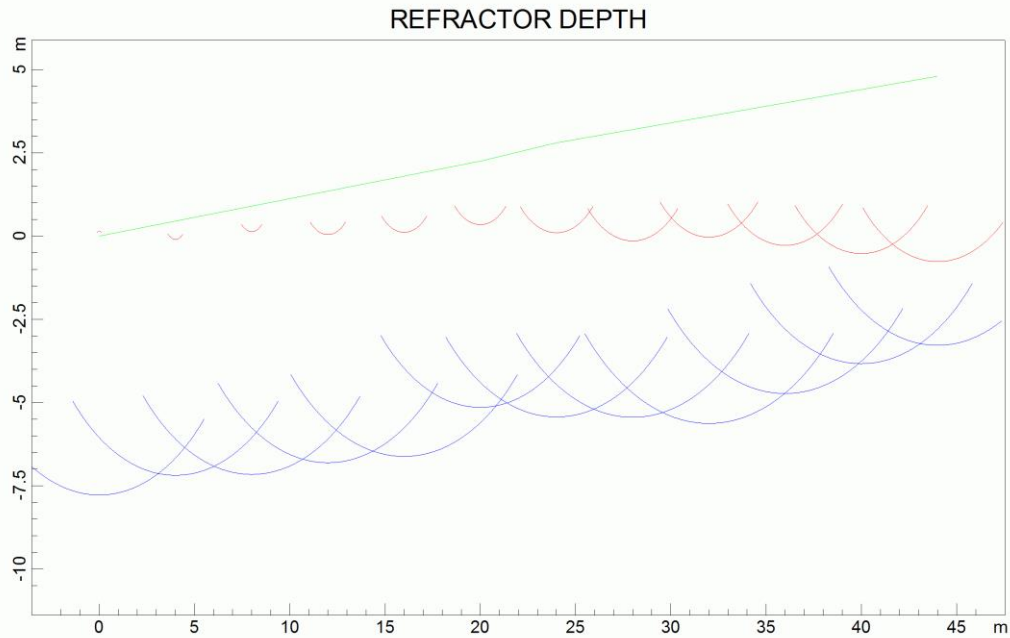
ESTUDIO DE GEOLOGIA-GEOFÍSICA-GEOTECNIA: ESTABILIDAD DE TALUDES  
PROYECTO: VÍAS DE ACCESO A LA CASA DE MÁQUINAS\_EL MOLINO  
SECTOR: GUARUMALES      PERFIL SÍSMICO N°: 7



ESTUDIO DE GEOLOGIA-GEOFÍSICA-GEOTECNIA: ESTABILIDAD DE TALUDES  
PROYECTO: VÍAS DE ACCESO A LA CASA DE MÁQUINAS\_EL MOLINO  
SECTOR: GUARUMALES      PERFIL SÍSMICO N°: 8



ESTUDIO DE GEOLOGIA-GEOFÍSICA-GEOTECNIA: ESTABILIDAD DE TALUDES  
PROYECTO: VÍAS DE ACCESO A LA CASA DE MÁQUINAS\_EL MOLINO  
SECTOR: GUARUMALES      PERFIL SÍSMICO N°: 9





## **ANEXO 4**

Registros de ensayos de Nakamura

HOJA DE CAMPO DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES H/V  
(NAKAMURA)

N° 0001



|                         |  |                           |                 |                                  |  |
|-------------------------|--|---------------------------|-----------------|----------------------------------|--|
| FECHA 05/12/2016        |  | HORA                      |                 | LUGAR 6 izquierda                |  |
| OPERADOR Iván Palacios  |  |                           | TIPO DE GPS Y # |                                  |  |
| LATITUD                 |  | LONGITUD                  |                 | ALTITUD                          |  |
| TIPO DE ESTACION<br>N/A |  | TIPO DE SENSOR<br>Obisdon |                 |                                  |  |
| ESTACION #<br>N/A       |  | SENSOR #<br>1             |                 | DISCO #                          |  |
| NOMBRE DEL ARCHIVO      |  |                           |                 | PUNTO # 1                        |  |
| GANANCIA 1:1            |  | FREC. MUEST. 100 Hz.      |                 | DURACION: 60 minutos<br>segundos |  |

|                       |        |       |                          |              |                          |       |                                     |        |                          |                  |  |
|-----------------------|--------|-------|--------------------------|--------------|--------------------------|-------|-------------------------------------|--------|--------------------------|------------------|--|
| CONDICIONES DEL CLIMA | VIENTO | ning. | <input type="checkbox"/> | débil (5m/s) | <input type="checkbox"/> | media | <input checked="" type="checkbox"/> | fuerte | <input type="checkbox"/> | Medición(si hay) |  |
|                       | LLUVIA | ning. | <input type="checkbox"/> | débil        | <input type="checkbox"/> | media | <input checked="" type="checkbox"/> | fuerte | <input type="checkbox"/> | Medición(si hay) |  |

|                |  |  |                                  |                                  |                                   |                                    |                                |
|----------------|--|--|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| TIPO DE TIERRA | <input checked="" type="checkbox"/> tierra | <input type="checkbox"/> dura                    | <input type="checkbox"/> grava   | <input type="checkbox"/> arena   | <input type="checkbox"/> roca     | <input type="checkbox"/> césped    | <input type="checkbox"/> corto |
|                | <input type="checkbox"/> suave             | <input type="checkbox"/> largo                   | <input type="checkbox"/> asfalto | <input type="checkbox"/> cemento | <input type="checkbox"/> concreto | <input type="checkbox"/> pavimento | <input type="checkbox"/> otro  |
|                | <input type="checkbox"/> suelo seco        | <input checked="" type="checkbox"/> suelo mojado | Observaciones:                   |                                  |                                   |                                    |                                |

|                                      |   |                                   |                                |
|--------------------------------------|---|-----------------------------------|--------------------------------|
| ACOPLAMIENTO SUELO-SENSOR ARTIFICIAL | <input checked="" type="checkbox"/> no      | <input type="checkbox"/> si, tipo |                                |
| DENSIDAD DE EDIFICACIONES            | <input checked="" type="checkbox"/> ninguna | <input type="checkbox"/> dispersa | <input type="checkbox"/> densa |
|                                      | <input type="checkbox"/> otra, tipo         |                                   |                                |

| TRANSIENTES | NINGUNO | POCO                                | MODERADO | MUCHO | MUY DENSO | DISTANCIA          |
|-------------|---------|-------------------------------------|----------|-------|-----------|--------------------|
|             |         |                                     |          |       |           |                    |
| CARROS      |         | <input checked="" type="checkbox"/> |          |       |           |                    |
| CAMIONES    |         | <input checked="" type="checkbox"/> |          |       |           |                    |
| PEATONES    |         | <input checked="" type="checkbox"/> |          |       |           |                    |
| OTROS       |         | <input checked="" type="checkbox"/> |          |       |           | Estacionado cerca. |

|   |   |
|---|---|
| FUENTES DE RUIDO MONOCROMATICO(fábricas, trabajos, bombas, ríos,...)  |   |
| <input type="checkbox"/> no   | <input checked="" type="checkbox"/> si, tipo El rio esta cerca. |
| ESTRUCTURAS CERCANAS ( descripción, altura, distancia ) ( árboles, centros urbanos, construcciones, puentes, estructuras subterráneas,... ) |   |
| Al filo de ladera con bosque espeso y alto, en la carretera   |   |

|               |                            |
|---------------|----------------------------|
| OBSERVACIONES | FRECUENCIA Hz.             |
|               | (Si es calculada en campo) |

El rio caudaloso esta relativamente cerca, unos 100mts.

**RS**  
**RED SISMICA DEL AUSTRO**

Es notorio que no se generen bajas frecuencias porque no hay viento ni lluvia

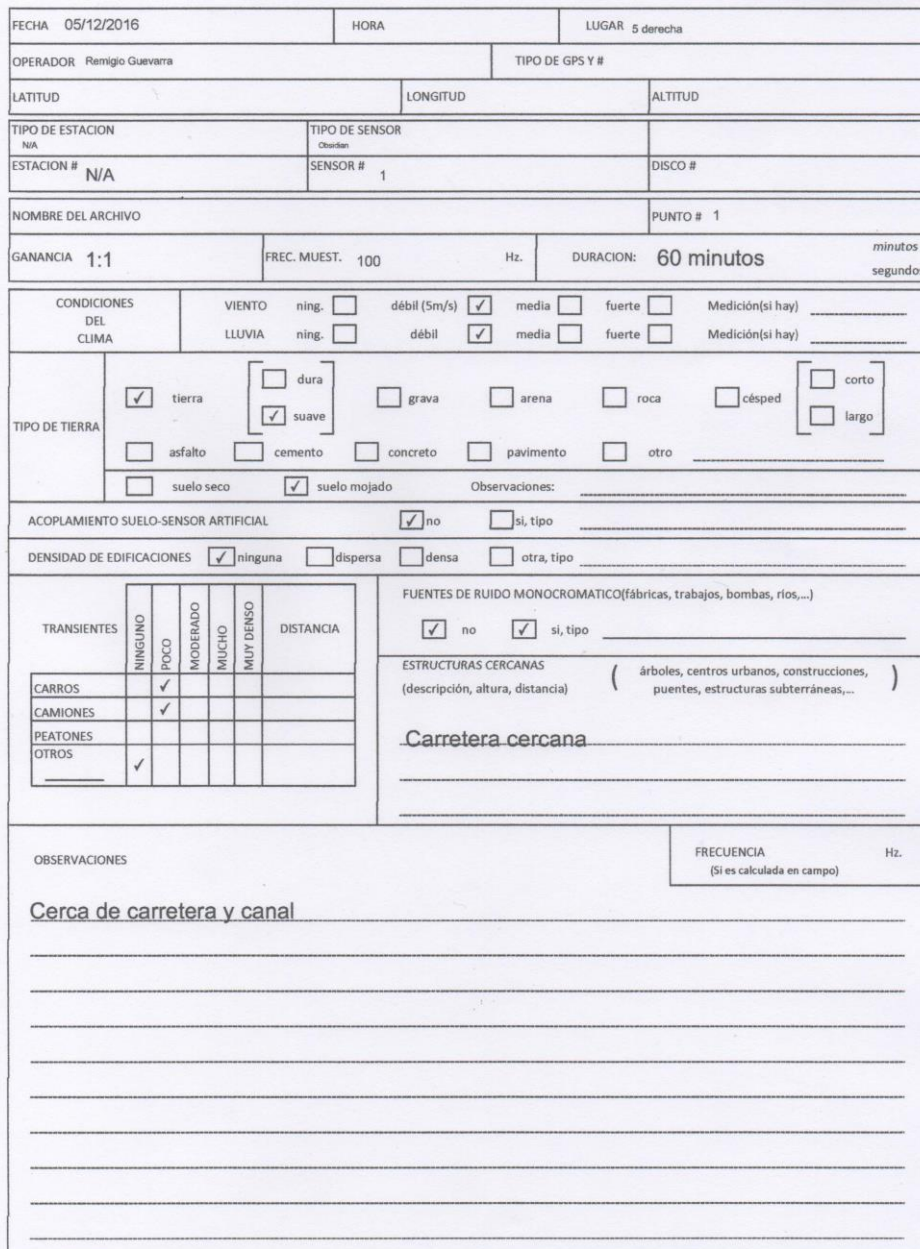


N° 0003

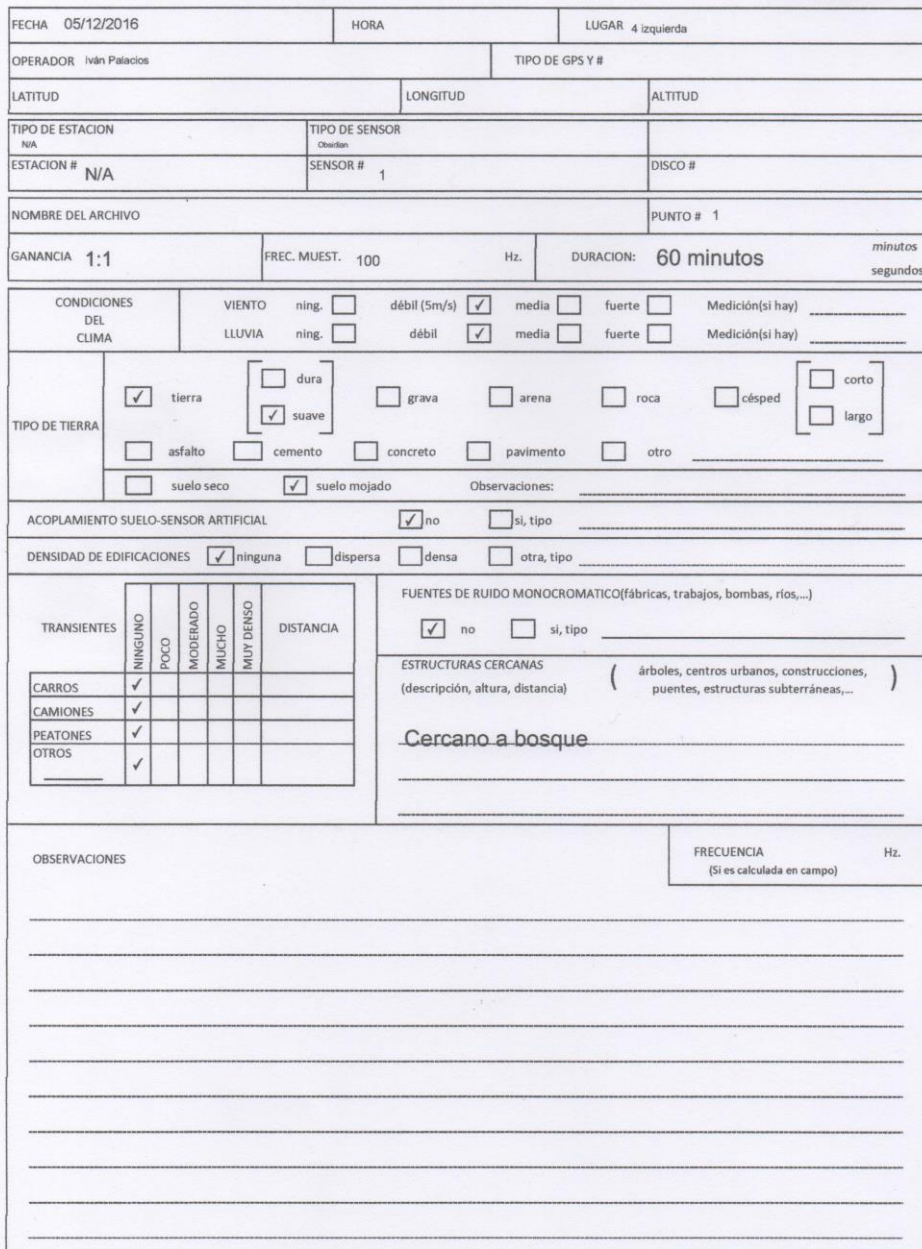
**RSA**  
RED SISMICA DEL AUSTRO

[illegible]

N° 0004



N°0005





N° 0006

**RSA**  
RED SISMICA DEL AUSTRO

[illegible]

N° 0007

**PSA**  
RED SISMICA DEL AUSTRO

|                        |  |                            |                 |   |  |
|------------------------|--|----------------------------|-----------------|---|--|
| FECHA 05/12/2016       |  | HORA                       |                 | LUGAR 3 derecha   |  |
| OPERADOR Iván Palacios |  |                            | TIPO DE GPS Y # |   |  |
| LATITUD                |  | LONGITUD                   |                 | ALTITUD   |  |
| TIPO DE ESTACION<br>NA |  | TIPO DE SENSOR<br>Obsidian |                 |   |  |
| ESTACION #<br>N/A      |  | SENSOR #<br>1              |                 | DISCO #   |  |
| NOMBRE DEL ARCHIVO     |  |                            |                 | PUNTO # 1   |  |
| GANANCIA 1:1           |  | FREC. MUEST. 100 Hz.       |                 | DURACION: 60 minutos<br><small>minutos segundos</small> |  |

|                       |        |                                |  |                                |                                 |                  |
|-----------------------|--------|--------------------------------|--|--------------------------------|---------------------------------|------------------|
| CONDICIONES DEL CLIMA | VIENTO | ning. <input type="checkbox"/> | débil (5m/s) <input checked="" type="checkbox"/> | media <input type="checkbox"/> | fuerte <input type="checkbox"/> | Medición(si hay) |
|                       | LLUVIA | ning. <input type="checkbox"/> | débil <input checked="" type="checkbox"/>        | media <input type="checkbox"/> | fuerte <input type="checkbox"/> | Medición(si hay) |

|                |  |  |                                   |                                    |                               |                                 |  |
|----------------|--|--|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--|
| TIPO DE TIERRA | <input checked="" type="checkbox"/> tierra | <input type="checkbox"/> dura<br><input checked="" type="checkbox"/> suave | <input type="checkbox"/> grava    | <input type="checkbox"/> arena     | <input type="checkbox"/> roca | <input type="checkbox"/> césped | <input type="checkbox"/> corto<br><input type="checkbox"/> largo |
|                | <input type="checkbox"/> asfalto           | <input type="checkbox"/> cemento   | <input type="checkbox"/> concreto | <input type="checkbox"/> pavimento | <input type="checkbox"/> otro |                                 |  |
|                | <input type="checkbox"/> suelo seco        | <input checked="" type="checkbox"/> suelo mojado                           | Observaciones:                    |                                    |                               |                                 |  |

ACOPLAMIENTO SUELO-SENSOR ARTIFICIAL ☒ no ☐ si, tipo \_\_\_\_\_

DENSIDAD DE EDIFICACIONES ☒ ninguna ☐ dispersa ☐ densa ☐ otra, tipo \_\_\_\_\_

| TRANSIENTES | NINGUNO | POCO                                | MODERADO | MUCHO | MUY DENSO | DISTANCIA |
|-------------|---------|-------------------------------------|----------|-------|-----------|-----------|
|             |         |                                     |          |       |           |           |
| CAMIONES    |         | <input checked="" type="checkbox"/> |          |       |           |           |
| PEATONES    |         | <input checked="" type="checkbox"/> |          |       |           |           |
| OTROS       |         | <input checked="" type="checkbox"/> |          |       |           |           |

|  |  |
|--|--|
| FUENTES DE RUIDO MONOCROMATICO(fábricas, trabajos, bombas, ríos,...)   |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> si, tipo _____   |  |
| ESTRUCTURAS CERCANAS ( descripción, altura, distancia )<br>( árboles, centros urbanos, construcciones, puentes, estructuras subterráneas,... ) |  |
| <u>Carretera cercana</u>   |  |

|               |   |
|---------------|---|
| OBSERVACIONES | FRECUENCIA Hz.<br><small>(Si es calculada en campo)</small> |
|---------------|---|

**DSA**  
RED SISMICA DEL AUSTRO

FRECUENCIA Hz.  
(Si es calculada en campo)



N° 0009

|                                      |                                     |   |                          |   |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
|--------------------------------------|-------------------------------------|---|--------------------------|---|-----------|----------|-------|-----------|-----------|--------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|----------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|----------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|-------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|---|--|
| FECHA 05/12/2016                     |                                     | HORA  |                          | LUGAR 2 derecha   |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| OPERADOR Iván Palacios               |                                     |   | TIPO DE GPS Y #          |   |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| LATITUD                              |                                     | LONGITUD  |                          | ALTITUD   |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| TIPO DE ESTACION<br>N/A              |                                     | TIPO DE SENSOR<br>Obsidian  |                          |   |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| ESTACION # N/A                       |                                     | SENSOR # 1  |                          | DISCO #   |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| NOMBRE DEL ARCHIVO                   |                                     |   |                          | PUNTO # 1   |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| GANANCIA 1:1                         |                                     | FREC. MUEST. 100 Hz.  |                          | DURACION: 60 minutos <span style="float: right;">minutos<br/>segundo</span> |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| CONDICIONES DEL CLIMA                |                                     | VIENTO ning. <input type="checkbox"/> débil (5m/s) <input checked="" type="checkbox"/> media <input type="checkbox"/> fuerte <input type="checkbox"/> Medición (si hay) _____<br>LLUVIA ning. <input checked="" type="checkbox"/> débil <input type="checkbox"/> media <input type="checkbox"/> fuerte <input type="checkbox"/> Medición (si hay) _____   |                          |   |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| TIPO DE TIERRA                       |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> tierra <span style="margin-left: 20px;"><input type="checkbox"/> dura <input checked="" type="checkbox"/> suave</span> <span style="margin-left: 20px;"><input type="checkbox"/> grava <input type="checkbox"/> arena <input type="checkbox"/> roca <input type="checkbox"/> césped <span style="margin-left: 20px;"><input type="checkbox"/> corto <input type="checkbox"/> largo</span></span>  |                          |   |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
|                                      |                                     | <input type="checkbox"/> asfalto <input type="checkbox"/> cemento <input type="checkbox"/> concreto <input type="checkbox"/> pavimento <input type="checkbox"/> otro _____  |                          |   |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
|                                      |                                     | <input type="checkbox"/> suelo seco <input checked="" type="checkbox"/> suelo mojado Observaciones: _____   |                          |   |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| ACOPLAMIENTO SUELO-SENSOR ARTIFICIAL |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> si, tipo _____  |                          |   |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| DENSIDAD DE EDIFICACIONES            |                                     | <input type="checkbox"/> ninguna <input checked="" type="checkbox"/> dispersa <input type="checkbox"/> densa <input type="checkbox"/> otra, tipo _____  |                          |   |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| TRANSIENTES                          |                                     | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 15%;">NINGUNO</td> <td style="width: 15%;">POCO</td> <td style="width: 15%;">MODERADO</td> <td style="width: 15%;">MUCHO</td> <td style="width: 15%;">MUY DENSO</td> <td style="width: 20%;">DISTANCIA</td> </tr> <tr> <td>CARROS</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CAMIONES</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PEATONES</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td>OTROS</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </table> |                          | NINGUNO   | POCO      | MODERADO | MUCHO | MUY DENSO | DISTANCIA | CARROS | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  | CAMIONES | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  | PEATONES | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  | OTROS | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  | FUENTES DE RUIDO MONOCROMATICO(fábricas, trabajos, bombas, ríos,...)<br><input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> si, tipo El río esta cerca. |  |
| NINGUNO                              | POCO                                | MODERADO  | MUCHO                    | MUY DENSO   | DISTANCIA |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| CARROS                               | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>  |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| CAMIONES                             | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>  |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| PEATONES                             | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>  |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| OTROS                                | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>  |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
|                                      |                                     | ESTRUCTURAS CERCANAS ( descripción, altura, distancia )<br>( árboles, centros urbanos, construcciones, puentes, estructuras subterráneas,... )  |                          | <u>Poste eléctrico a 10 metros. Edificaciones de 2 plantas a 15 metros</u>  |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
| OBSERVACIONES                        |                                     |   |                          | FRECENCIA (Si es calculada en campo)  |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |
|                                      |                                     |   |                          | Hz.   |           |          |       |           |           |        |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |          |                                     |                          |                          |                          |  |       |                                     |                          |                          |                          |  |   |  |

**DSA**  
RED SISMICA DEL AUSTRO

FRECUENCIA Hz.  
(Si es calculada en campo)

HOJA DE CAMPO DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES H/V  
(NAKAMURA)

N° 0011



| FECHA 05/12/2016   |                                     | HORA   |                 | LUGAR 2 derecha                              |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
|--|-------------------------------------|--|-----------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|-------------------------------------|--|--|--|--|--|----------|-------------------------------------|--|--|--|--|--|----------|-------------------------------------|--|--|--|--|--|-------|-------------------------------------|--|--|--|--|--|---|--|--|--|
| OPERADOR Iván Palacios   |                                     |  | TIPO DE GPS Y # |  |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| LATITUD  |                                     | LONGITUD   |                 | ALTITUD                                      |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| TIPO DE ESTACION<br>NA   |                                     | TIPO DE SENSOR<br>Observar   |                 |  |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| ESTACION #<br>N/A  |                                     | SENSOR #<br>1  |                 | DISCO #                                      |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| NOMBRE DEL ARCHIVO   |                                     |  |                 | PUNTO # 1                                    |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| GANANCIA 1:1   |                                     | FREC. MUEST. 100 Hz.   |                 | DURACION: 60 minutos<br>segundos             |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| CONDICIONES DEL CLIMA  |                                     | VIENTO ning. <input type="checkbox"/> débil (5m/s) <input checked="" type="checkbox"/> media <input type="checkbox"/> fuerte <input type="checkbox"/> Medición(si hay) _____<br>LLUVIA ning. <input type="checkbox"/> débil <input type="checkbox"/> media <input checked="" type="checkbox"/> fuerte <input type="checkbox"/> Medición(si hay) _____  |                 |  |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| TIPO DE TIERRA   |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> tierra <input type="checkbox"/> dura <input type="checkbox"/> grava <input type="checkbox"/> arena <input type="checkbox"/> roca <input type="checkbox"/> césped <input type="checkbox"/> corto<br><input checked="" type="checkbox"/> suave <input type="checkbox"/> largo<br><input type="checkbox"/> asfalto <input type="checkbox"/> cemento <input type="checkbox"/> concreto <input type="checkbox"/> pavimento <input type="checkbox"/> otro _____<br><input type="checkbox"/> suelo seco <input checked="" type="checkbox"/> suelo mojado Observaciones: _____ |                 |  |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| ACOPLOAMIENTO SUELO-SENSOR ARTIFICIAL <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> si, tipo _____   |                                     |  |                 |  |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| DENSIDAD DE EDIFICACIONES <input checked="" type="checkbox"/> ninguna <input type="checkbox"/> dispersa <input type="checkbox"/> densa <input type="checkbox"/> otra, tipo _____   |                                     |  |                 |  |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>TRANSIENTES</th> <th>NINGUNO</th> <th>POCO</th> <th>MODERADO</th> <th>MUCHO</th> <th>MUY DENSO</th> <th>DISTANCIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CARROS</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CAMIONES</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PEATONES</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>OTROS</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> |                                     | TRANSIENTES  | NINGUNO         | POCO   | MODERADO  | MUCHO     | MUY DENSO | DISTANCIA | CARROS | <input checked="" type="checkbox"/> |  |  |  |  |  | CAMIONES | <input checked="" type="checkbox"/> |  |  |  |  |  | PEATONES | <input checked="" type="checkbox"/> |  |  |  |  |  | OTROS | <input checked="" type="checkbox"/> |  |  |  |  |  | FUENTES DE RUIDO MONOCROMATICO(fábricas, trabajos, bombas, ríos,...)<br><input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> si, tipo El rio esta cerca. |  |  |  |
| TRANSIENTES  | NINGUNO                             | POCO   | MODERADO        | MUCHO  | MUY DENSO | DISTANCIA |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| CARROS   | <input checked="" type="checkbox"/> |  |                 |  |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| CAMIONES   | <input checked="" type="checkbox"/> |  |                 |  |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| PEATONES   | <input checked="" type="checkbox"/> |  |                 |  |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| OTROS  | <input checked="" type="checkbox"/> |  |                 |  |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| ESTRUCTURAS CERCANAS ( descripción, altura, distancia ) ( árboles, centros urbanos, construcciones, puentes, estructuras subterráneas,... )<br>En bosque medio   |                                     |  |                 |  |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| OBSERVACIONES  |                                     |  |                 | FRECUENCIA Hz.<br>(Si es calculada en campo) |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |



HOJA DE CAMPO DE MEDICION DE MICROTREPIDACIONES H/V  
(NAKAMURA)

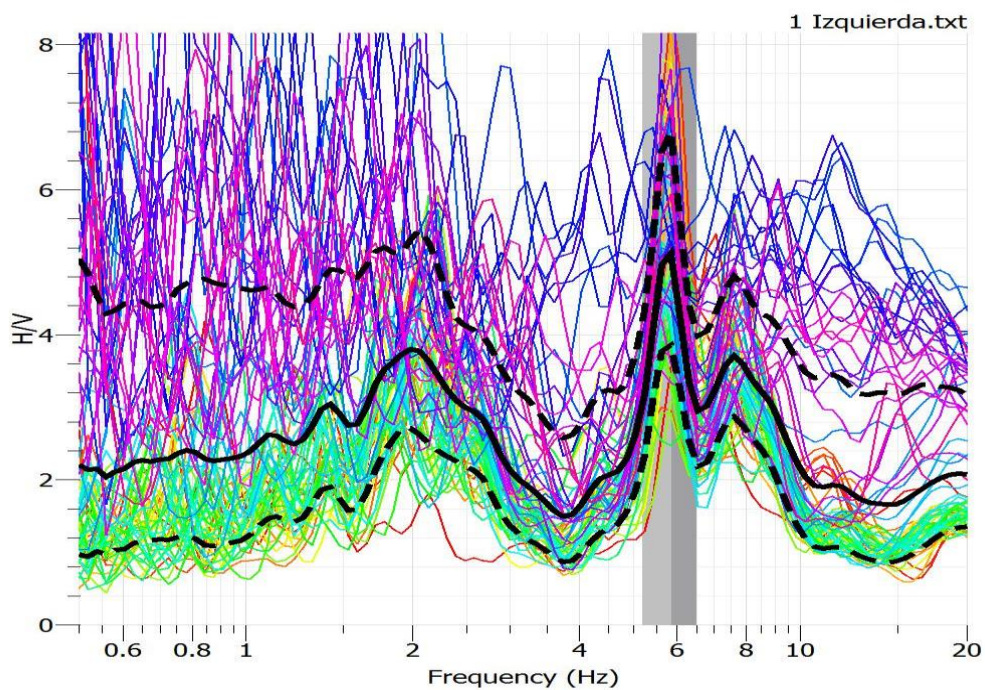
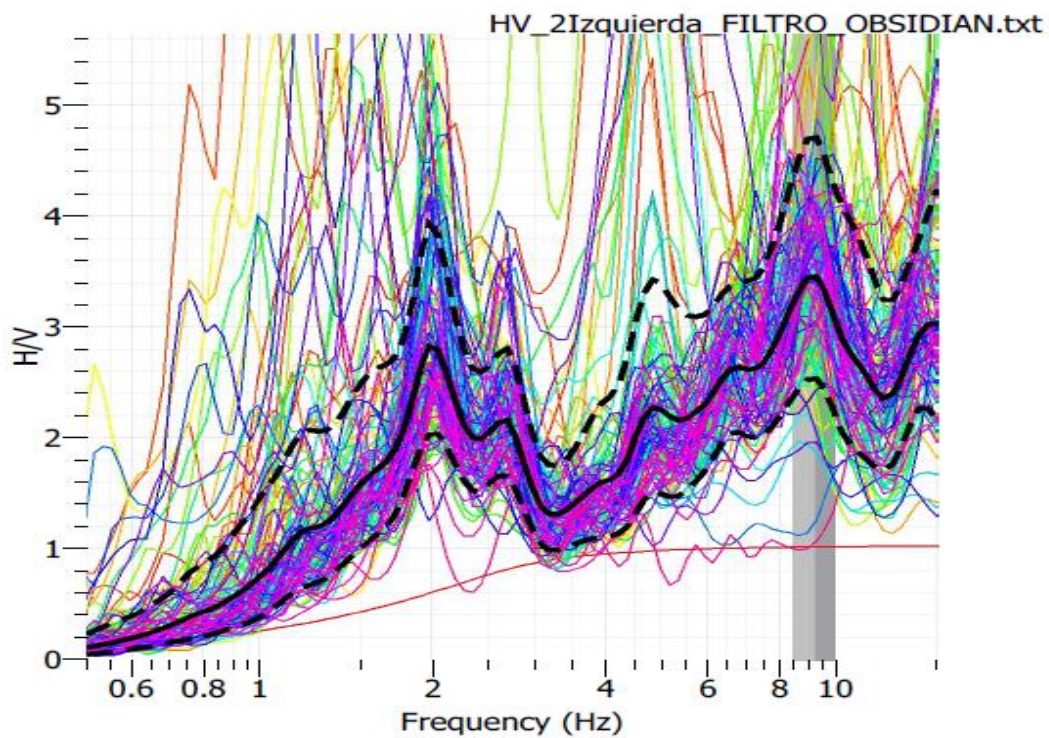
N°0012



| FECHA 05/12/2016   |                                     | HORA  |                 | LUGAR 1 izquierda                           |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
|--|-------------------------------------|---|-----------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|-------------------------------------|--|--|--|--|--|----------|-------------------------------------|--|--|--|--|--|----------|-------------------------------------|--|--|--|--|--|-------|-------------------------------------|--|--|--|--|--|---|--|--|--|
| OPERADOR Iván Palacios   |                                     |   | TIPO DE GPS Y # |   |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| LATITUD  |                                     | LONGITUD  |                 | ALTITUD                                     |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| TIPO DE ESTACION<br>NA   |                                     | TIPO DE SENSOR<br>Obsidian  |                 |   |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| ESTACION #<br>N/A  |                                     | SENSOR #<br>1   |                 | DISCO #                                     |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| NOMBRE DEL ARCHIVO   |                                     |   |                 | PUNTO # 1                                   |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| GANANCIA 1:1   |                                     | FREC. MUEST. 100 Hz.  |                 | DURACION: 60 minutos<br>minutos<br>segundos |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| CONDICIONES DEL CLIMA  |                                     | VIENTO ning. <input type="checkbox"/> débil (5m/s) <input checked="" type="checkbox"/> media <input type="checkbox"/> fuerte <input type="checkbox"/> Medición(si hay) _____<br>LLUVIA ning. <input checked="" type="checkbox"/> débil <input type="checkbox"/> media <input type="checkbox"/> fuerte <input type="checkbox"/> Medición(si hay) _____   |                 |   |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| TIPO DE TIERRA   |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> tierra <input type="checkbox"/> dura <input type="checkbox"/> grava <input type="checkbox"/> arena <input type="checkbox"/> roca <input type="checkbox"/> césped <input type="checkbox"/> corto<br><input type="checkbox"/> suave <input type="checkbox"/> asfalto <input type="checkbox"/> cemento <input type="checkbox"/> concreto <input type="checkbox"/> pavimento <input type="checkbox"/> otro _____<br><input type="checkbox"/> suelo seco <input checked="" type="checkbox"/> suelo mojado Observaciones: _____ |                 |   |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| ACOPLAMIENTO SUELO-SENSOR ARTIFICIAL   |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> si, tipo _____  |                 |   |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| DENSIDAD DE EDIFICACIONES  |                                     | <input checked="" type="checkbox"/> ninguna <input type="checkbox"/> dispersa <input type="checkbox"/> densa <input type="checkbox"/> otra, tipo _____  |                 |   |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>TRANSIENTES</th> <th>NINGUNO</th> <th>POCO</th> <th>MODERADO</th> <th>MUCHO</th> <th>MUY DENSO</th> <th>DISTANCIA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CARROS</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CAMIONES</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>PEATONES</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>OTROS</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> |                                     | TRANSIENTES   | NINGUNO         | POCO  | MODERADO  | MUCHO     | MUY DENSO | DISTANCIA | CARROS | <input checked="" type="checkbox"/> |  |  |  |  |  | CAMIONES | <input checked="" type="checkbox"/> |  |  |  |  |  | PEATONES | <input checked="" type="checkbox"/> |  |  |  |  |  | OTROS | <input checked="" type="checkbox"/> |  |  |  |  |  | FUENTES DE RUIDO MONOCROMATICO(fábricas, trabajos, bombas, ríos,...)<br><input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> si, tipo <u>Concretera a 100mts</u> |  |  |  |
| TRANSIENTES  | NINGUNO                             | POCO  | MODERADO        | MUCHO                                       | MUY DENSO | DISTANCIA |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| CARROS   | <input checked="" type="checkbox"/> |   |                 |   |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| CAMIONES   | <input checked="" type="checkbox"/> |   |                 |   |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| PEATONES   | <input checked="" type="checkbox"/> |   |                 |   |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| OTROS  | <input checked="" type="checkbox"/> |   |                 |   |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
|  |                                     | ESTRUCTURAS CERCANAS<br>(descripción, altura, distancia) ( árboles, centros urbanos, construcciones, puentes, estructuras subterráneas,... )  |                 |   |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| OBSERVACIONES  |                                     |   |                 |   |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |
| FRECUCENCIA Hz.<br>(Si es calculada en campo)  |                                     |   |                 |   |           |           |           |           |        |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |          |                                     |  |  |  |  |  |       |                                     |  |  |  |  |  |   |  |  |  |

## **ANEXO 5**

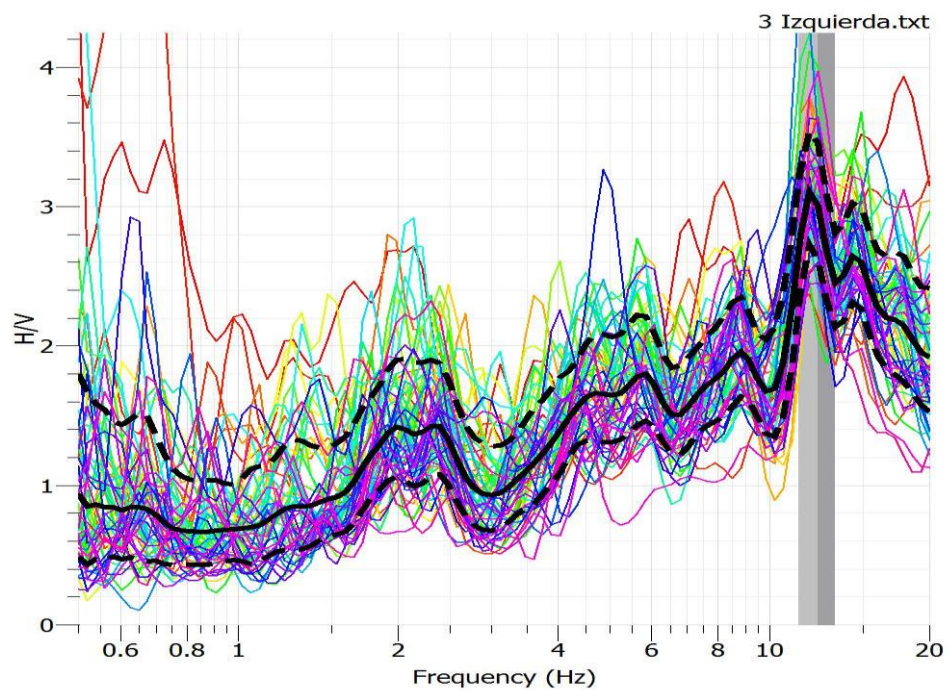
Resultados de ensayos de Nakamura

**Punto 1 Izquierda****Punto 2 Izquierda**

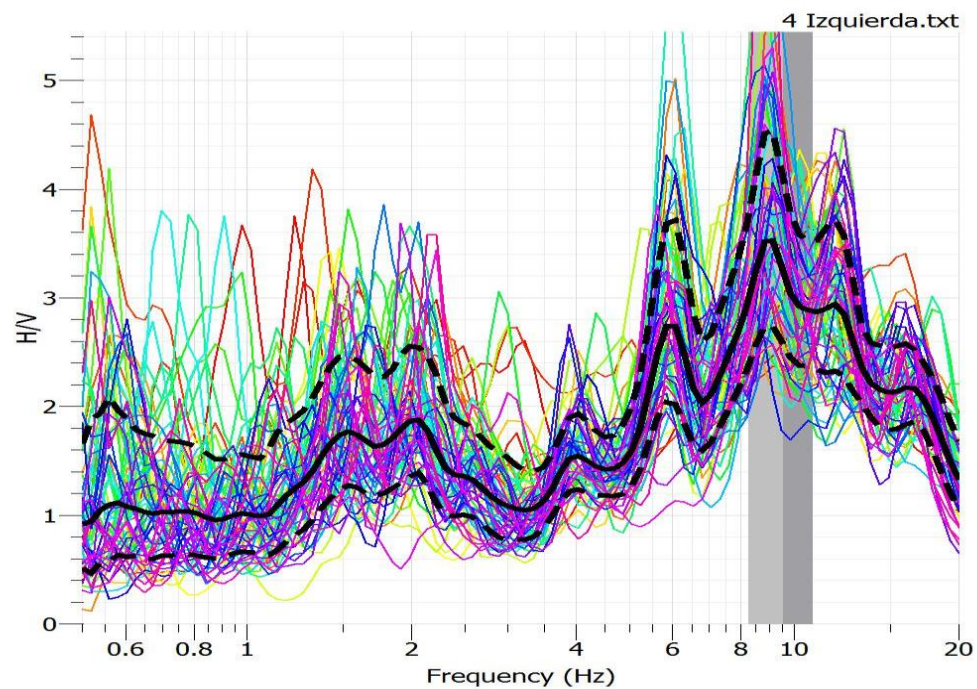


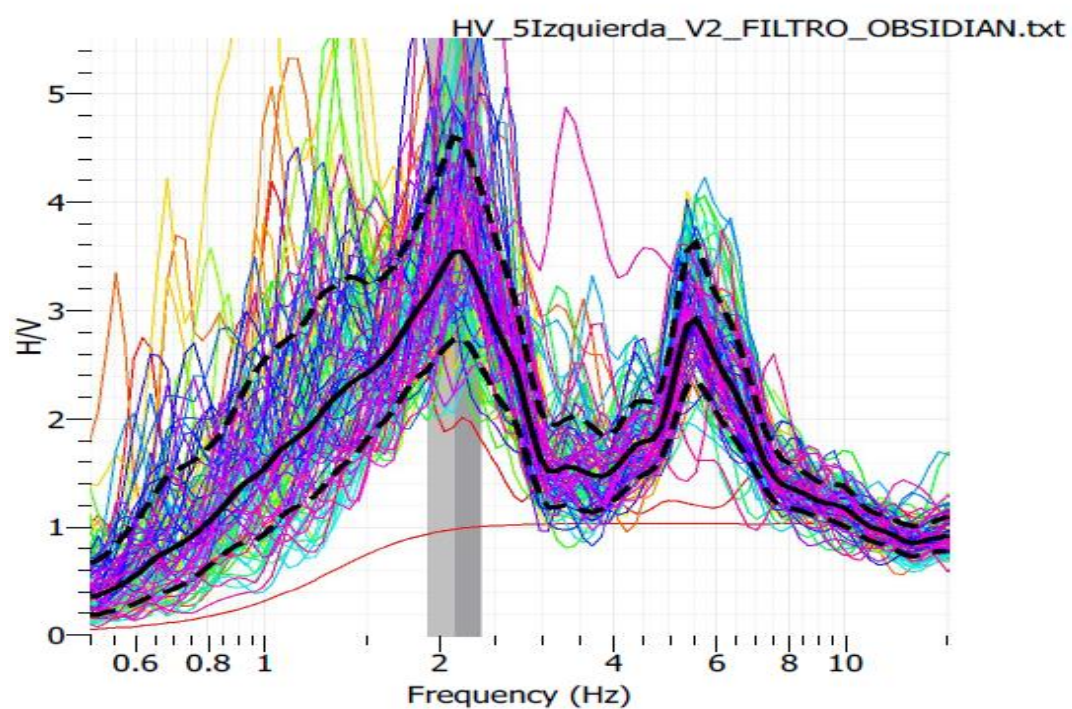
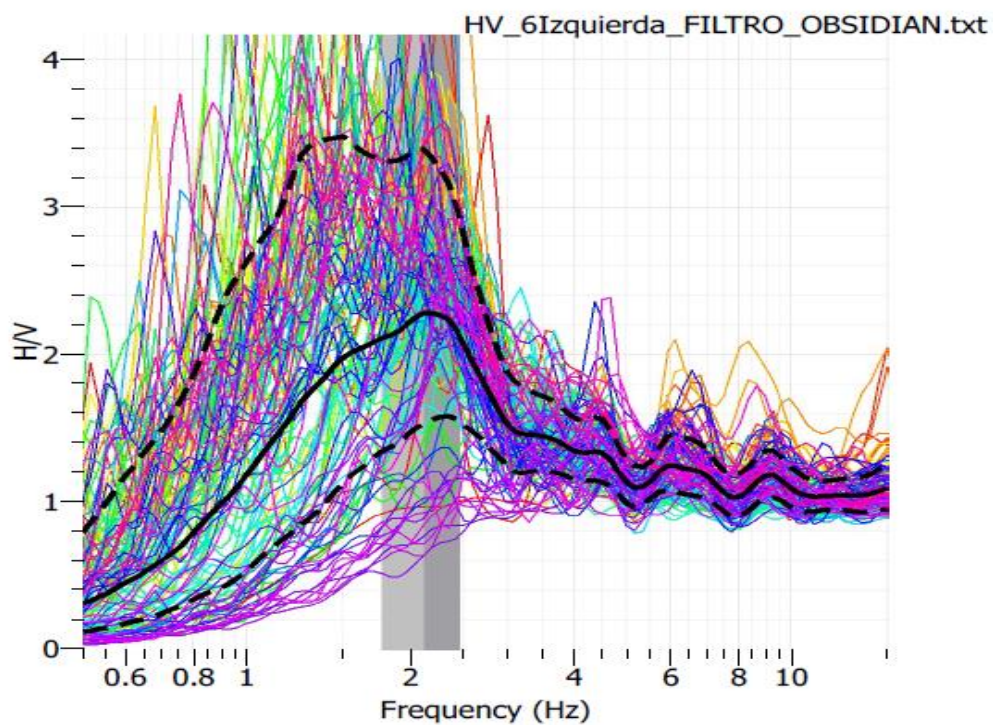


### Punto 3 Izquierda

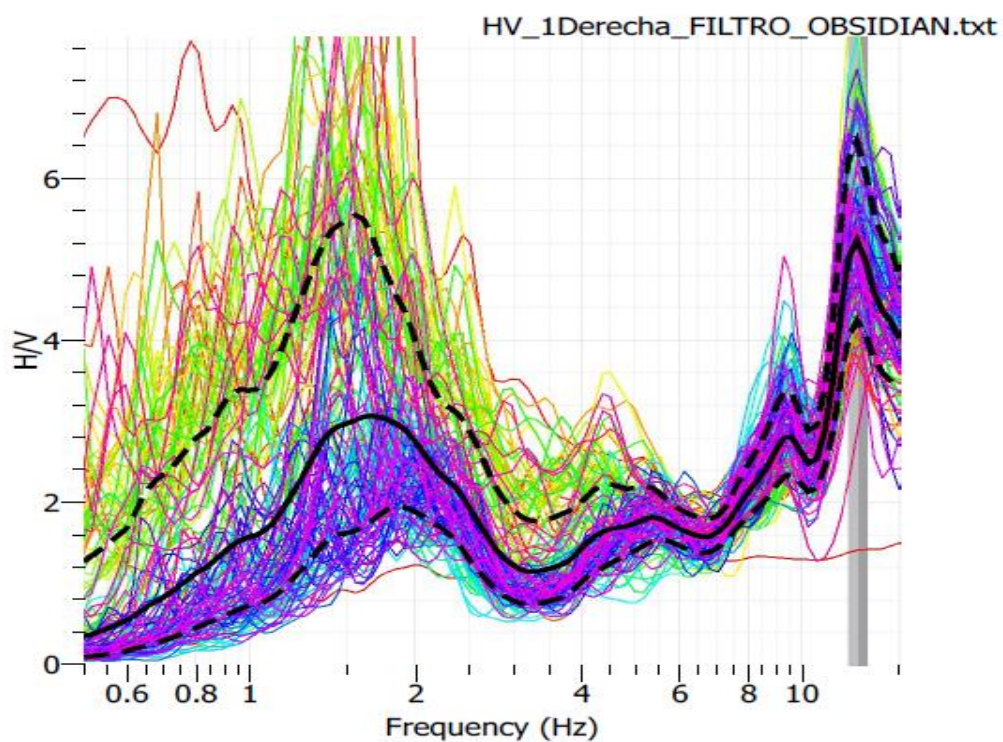
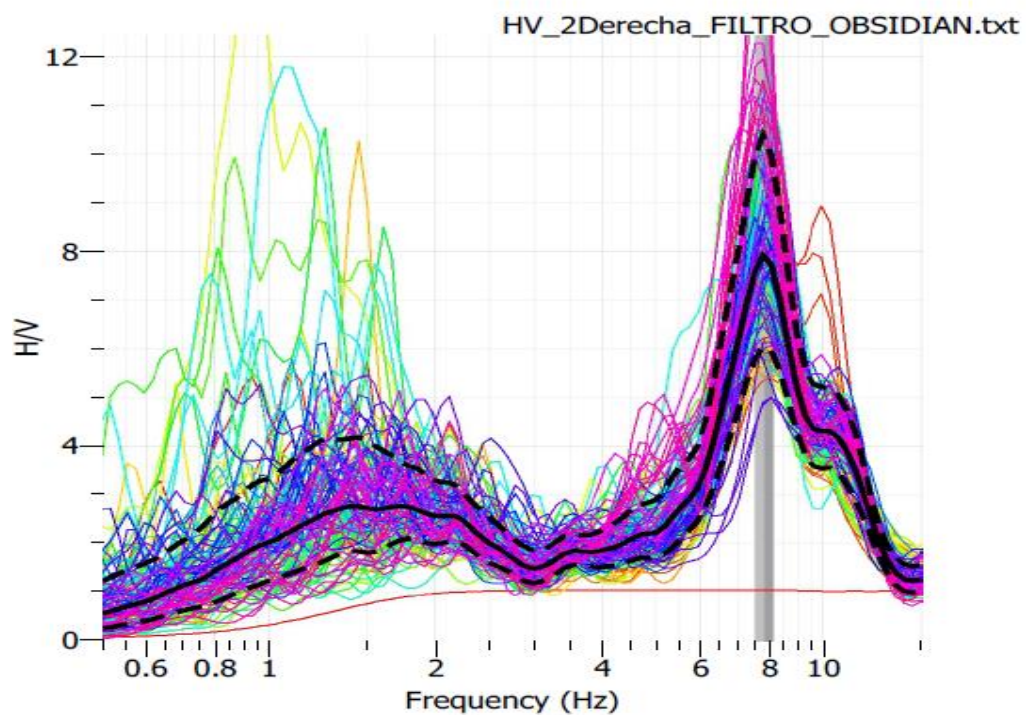


### Punto 4 Izquierda

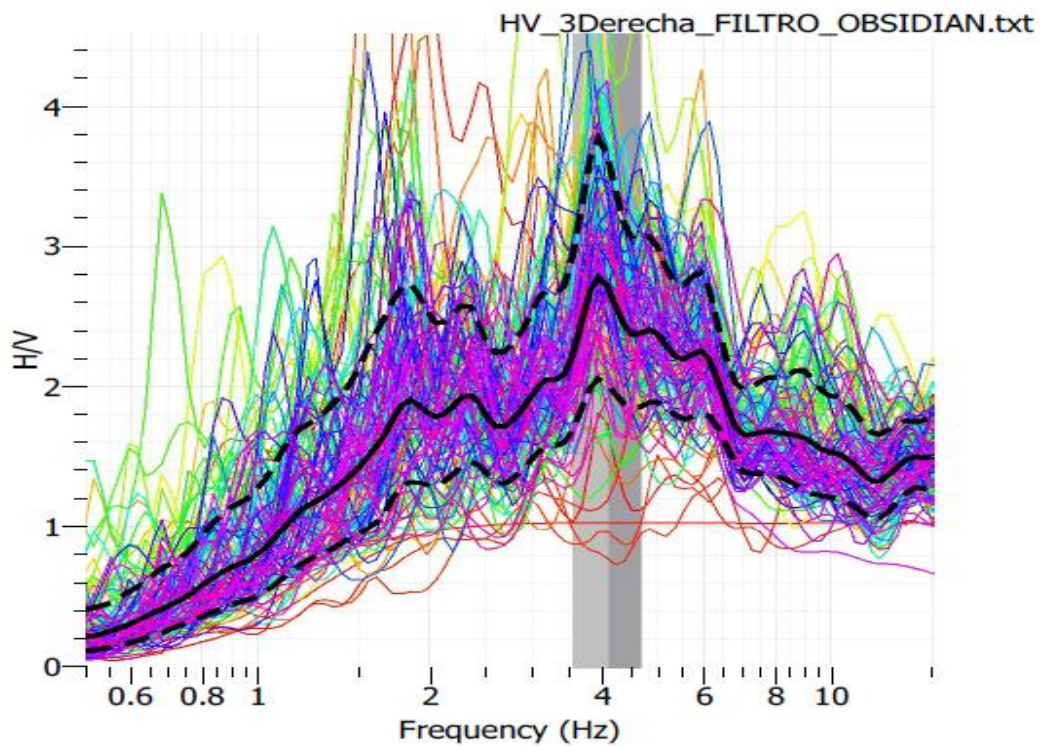
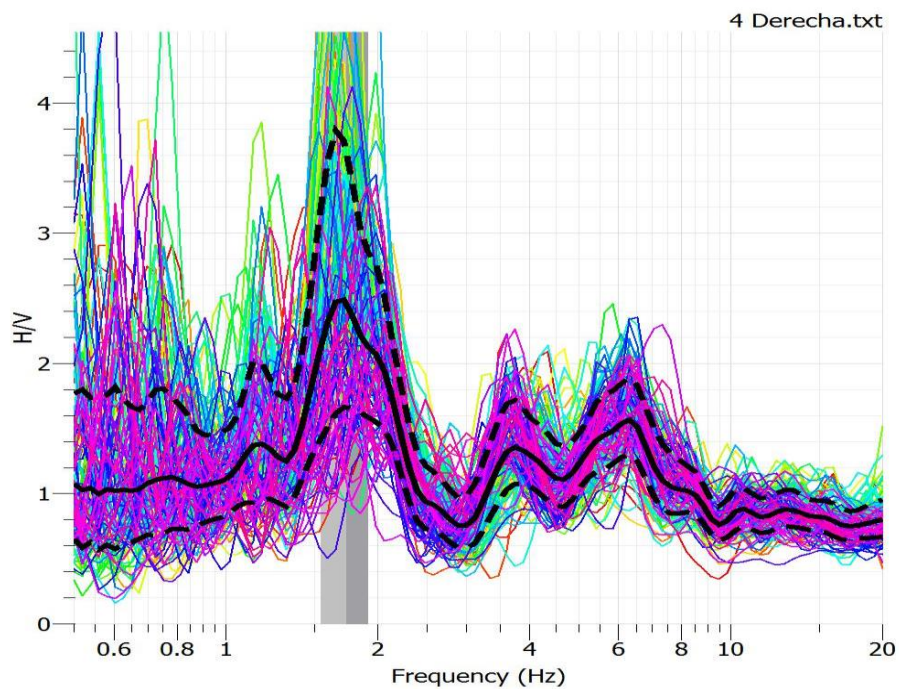


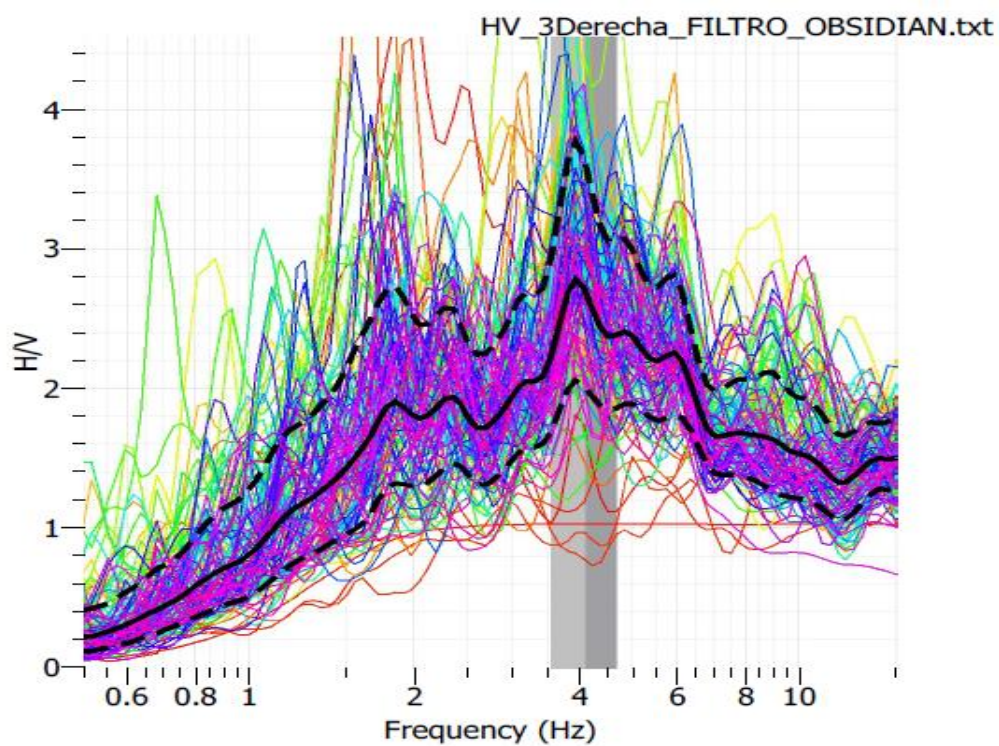
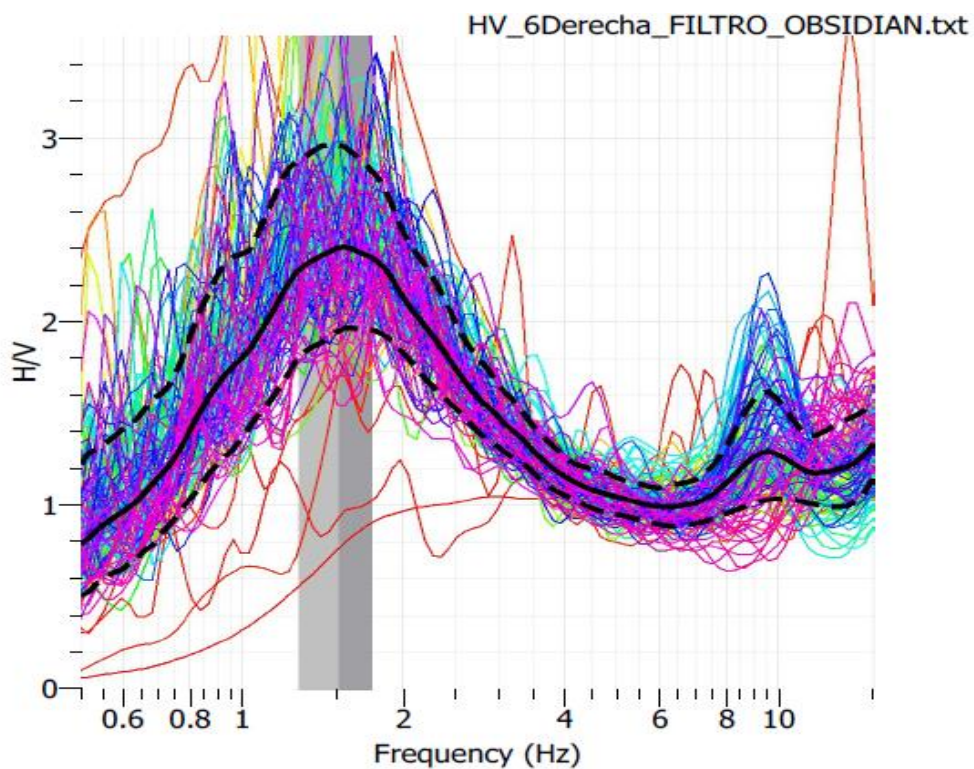
**Punto 5 Izquierda****Punto 6 Izquierda**



**Punto 1 Derecha****Punto 2 Derecha**



**Punto 3 Derecha****Punto 4 Derecha**

**Punto 5 Derecha****Punto 6 Derecha**

## **ANEXO 6**

Gráficas de los registros de los inclinómetros



Azimut:  $318^{\circ}$

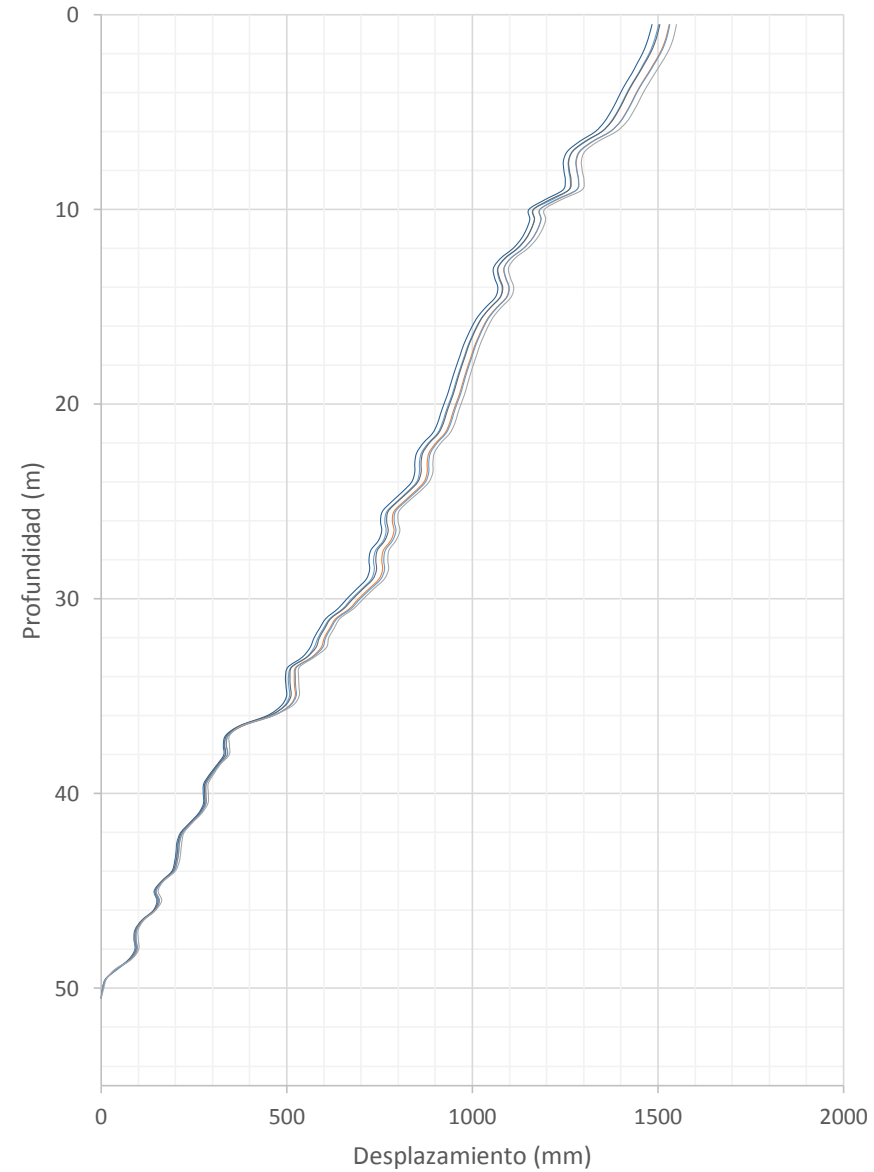


PEG-03 B

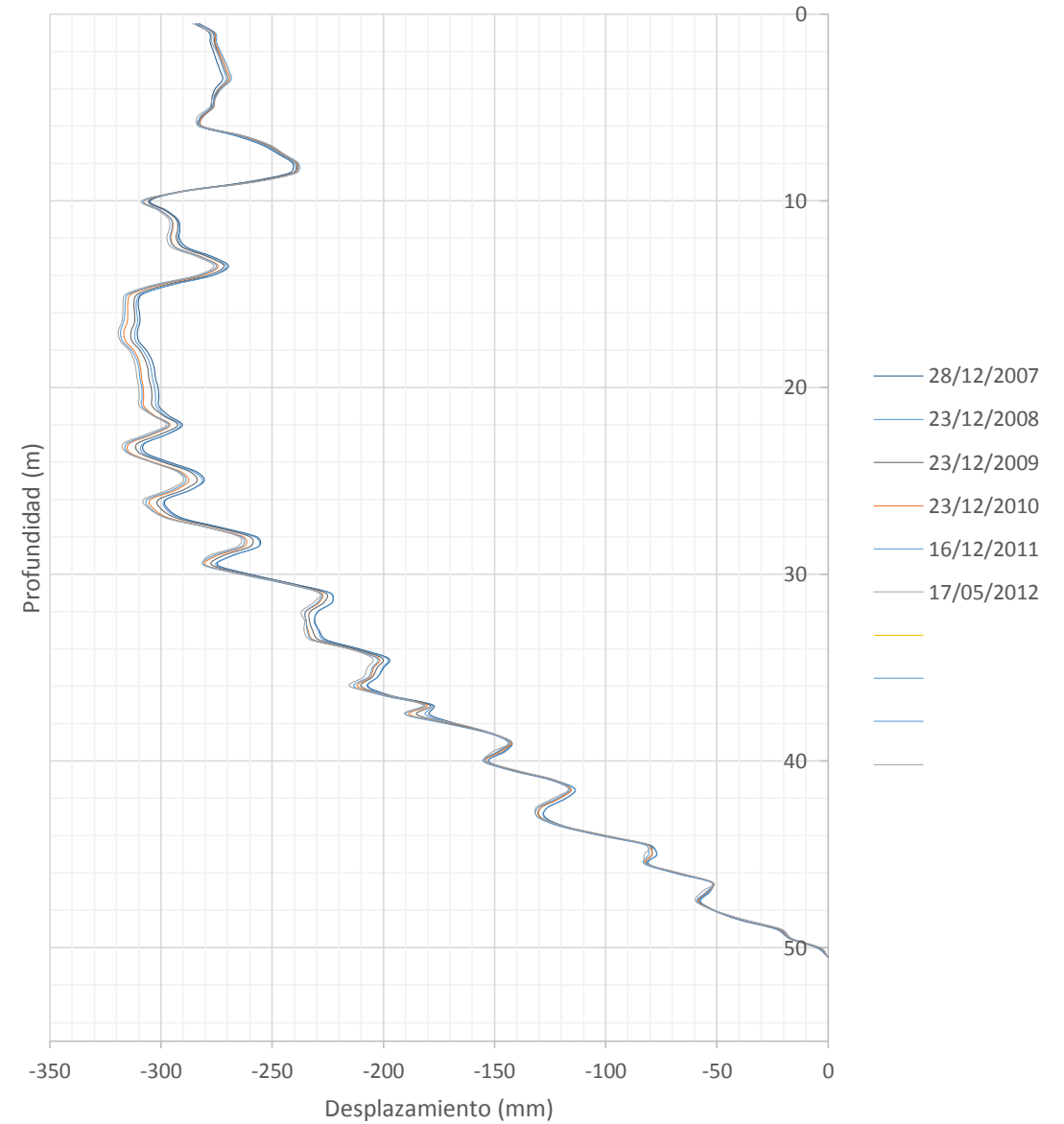


Azimut: 321°

PI-2 A



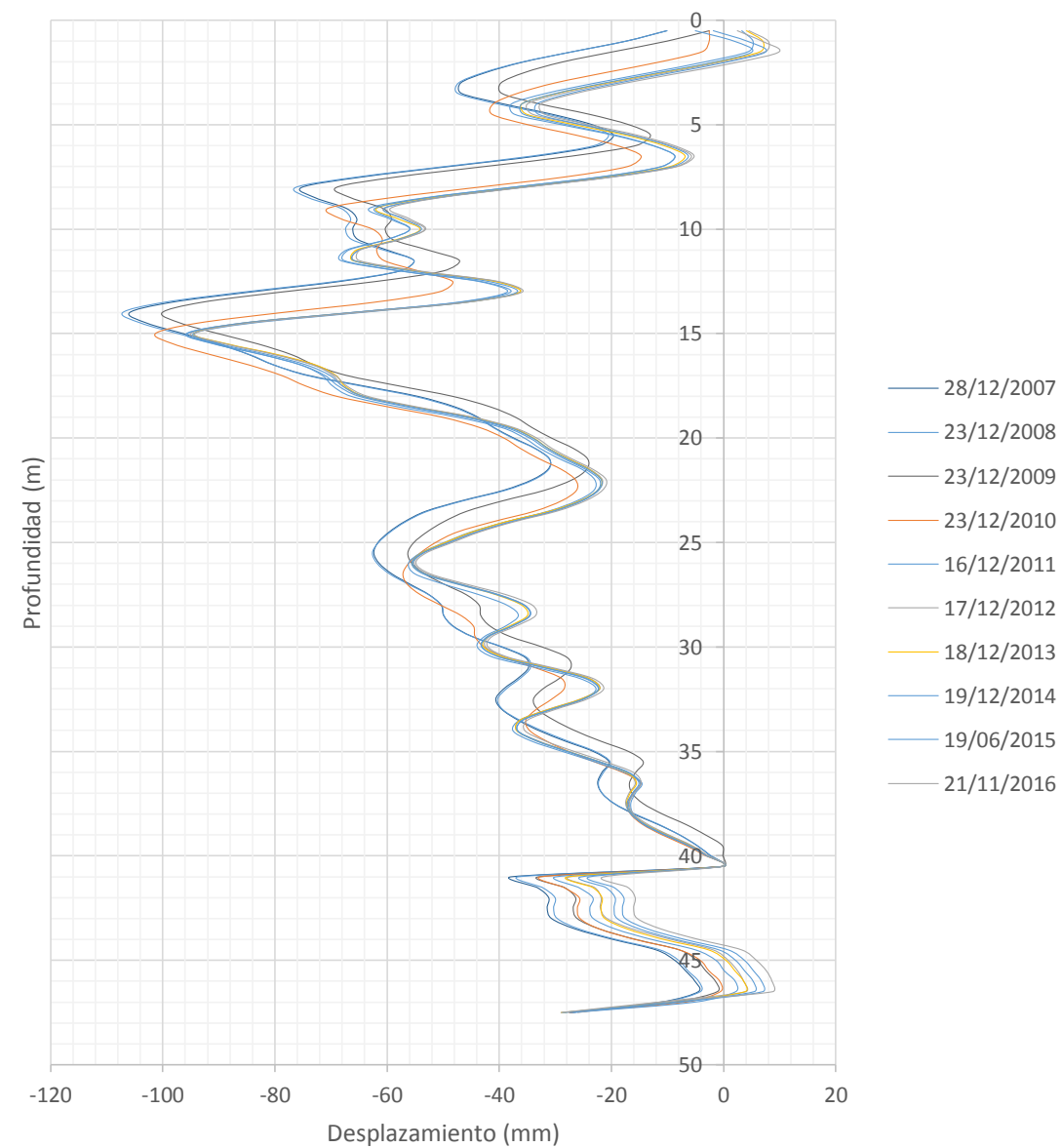
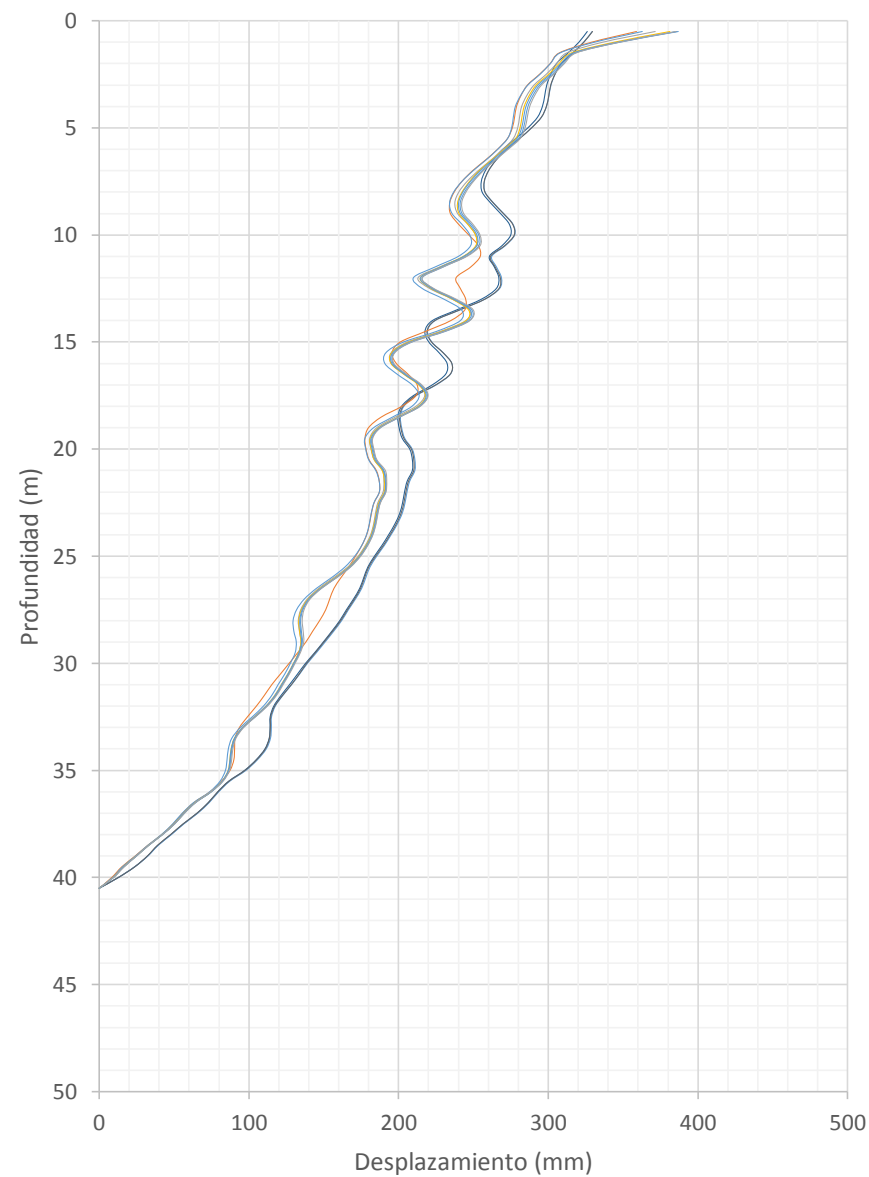
PI-2 B



PI-03 A

Azimut: 272°

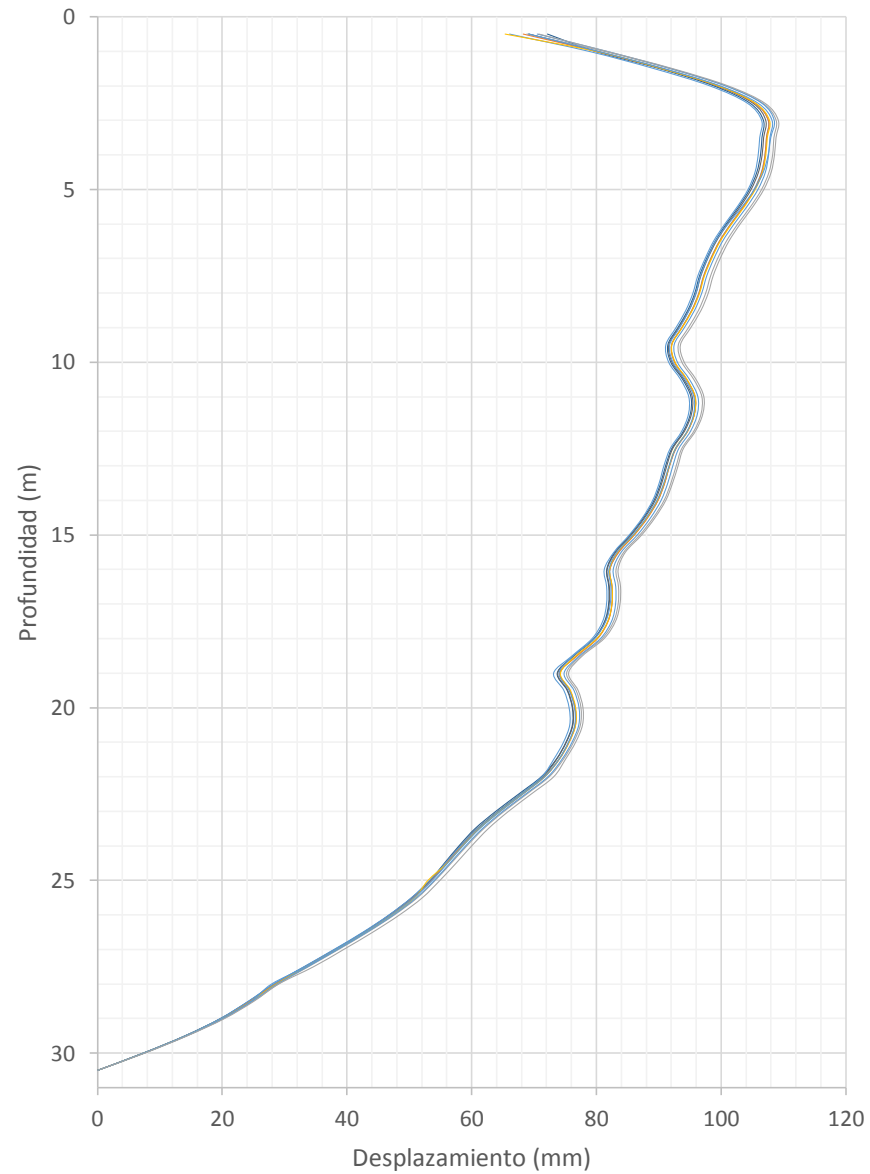
PI-03 B



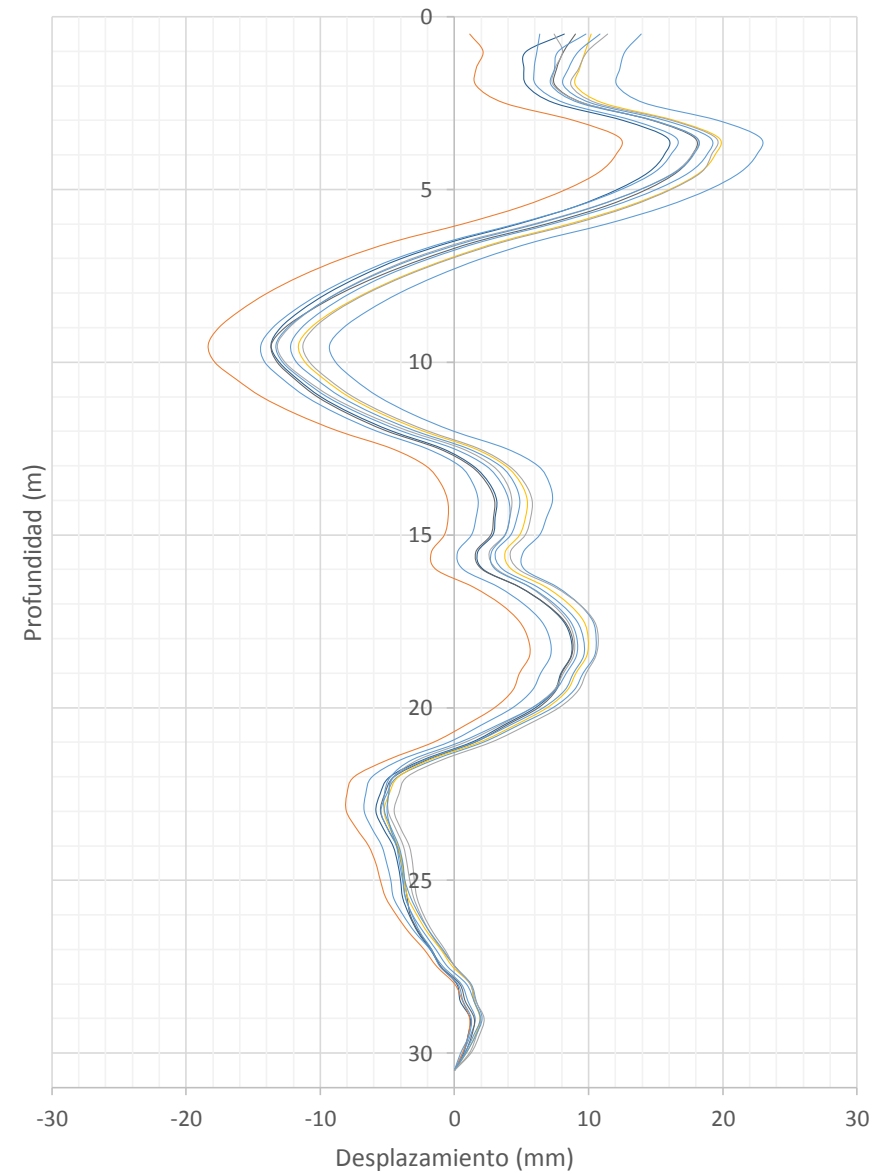


Azimut: 326°

PI-4 A

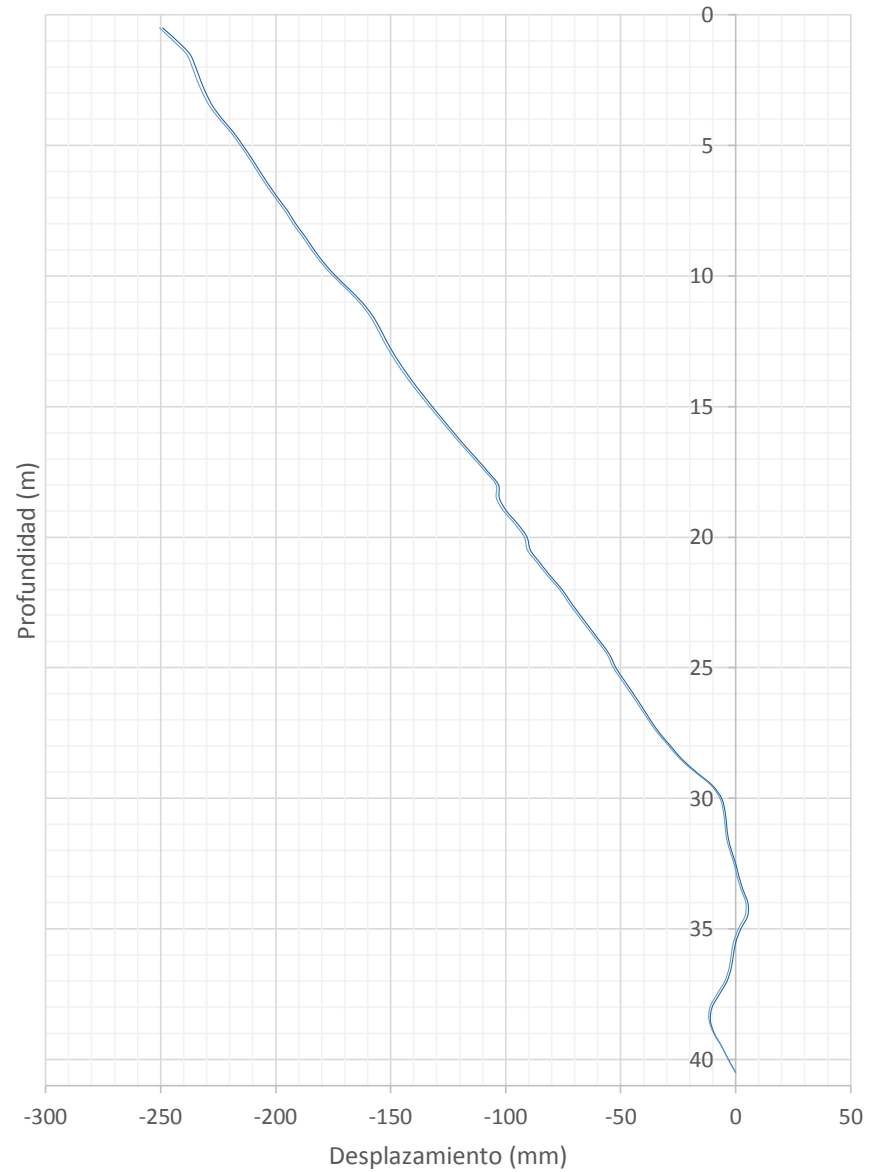


PI-4 B

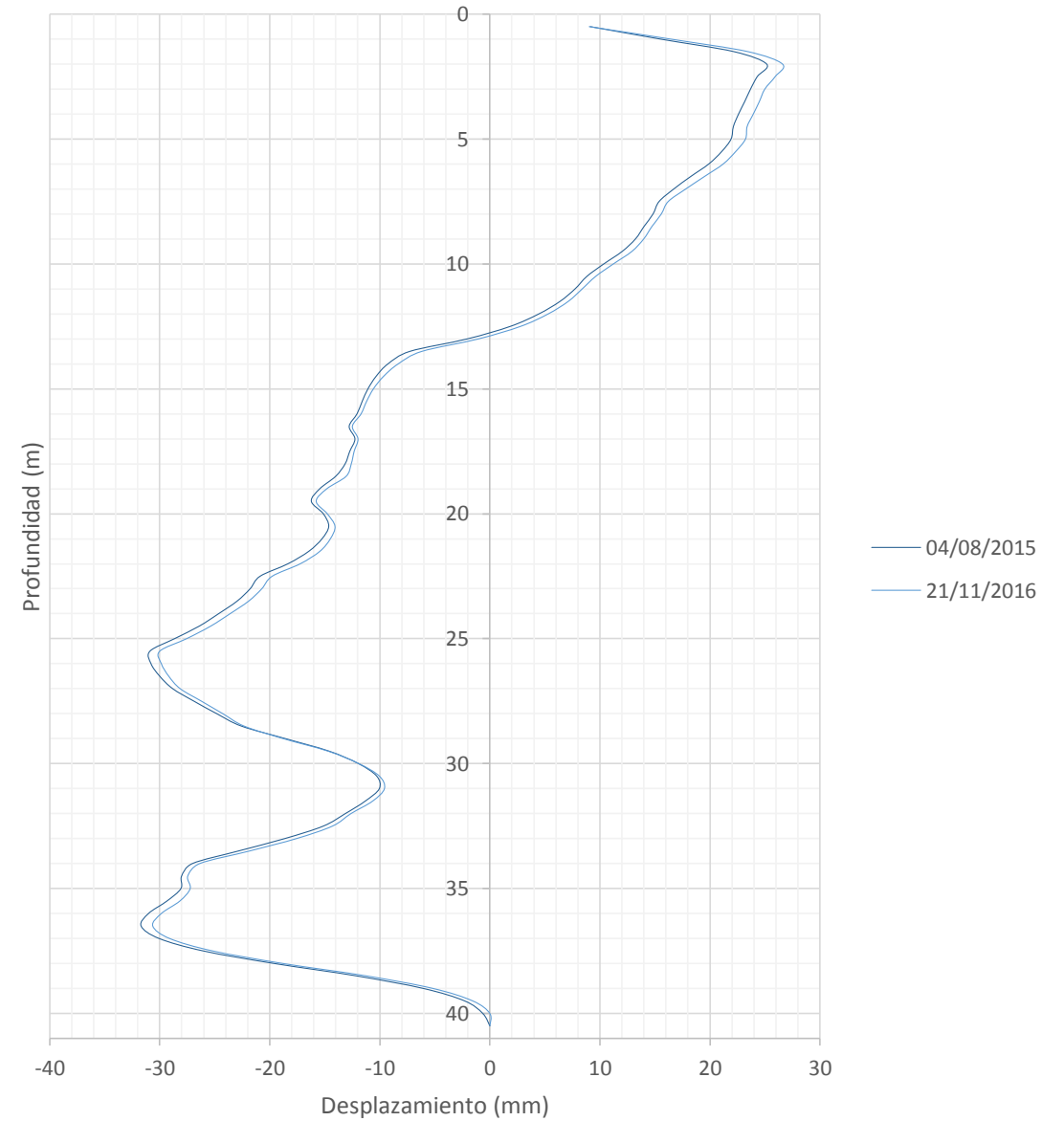


Azimut: 278°

PI-10 A



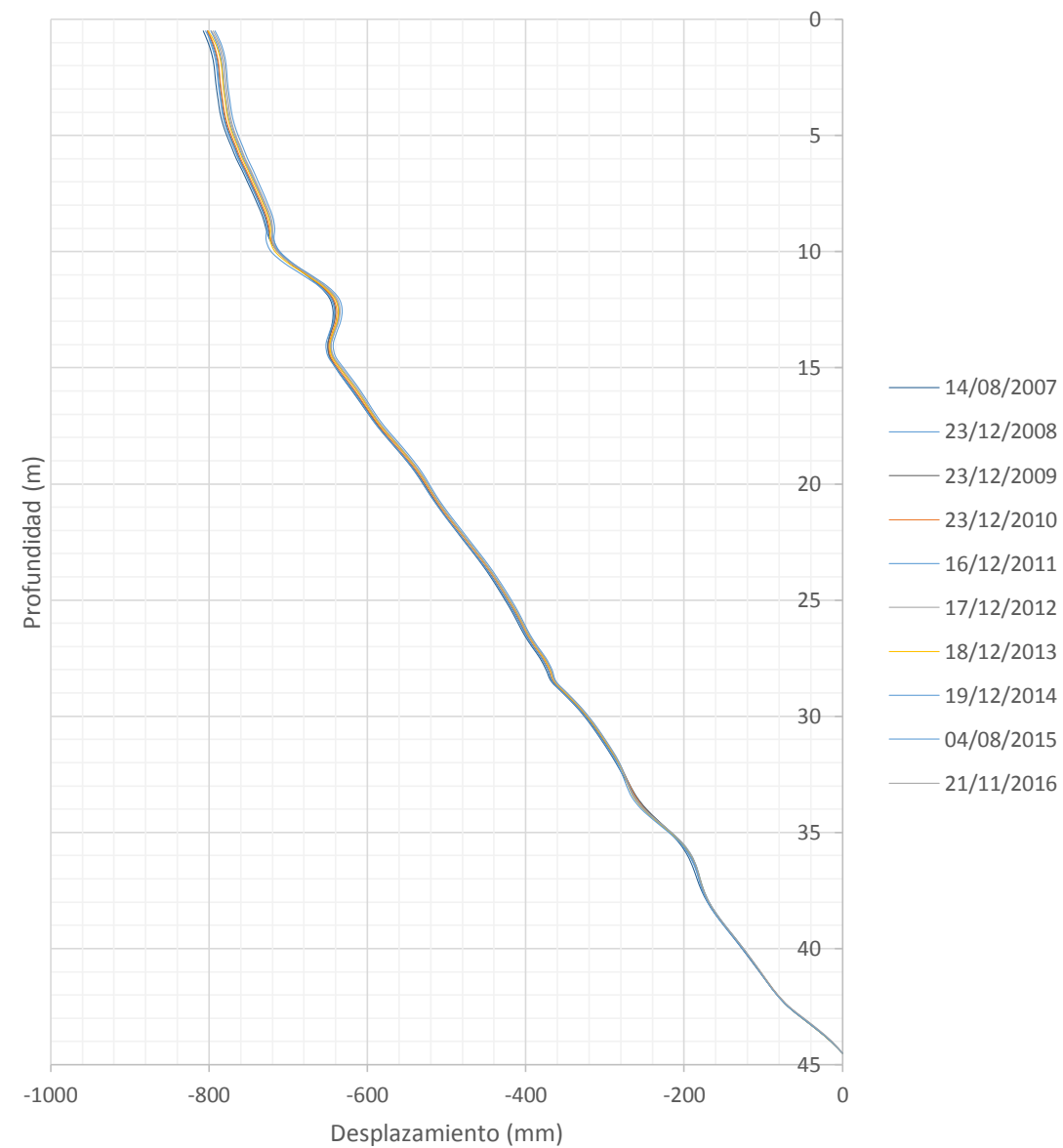
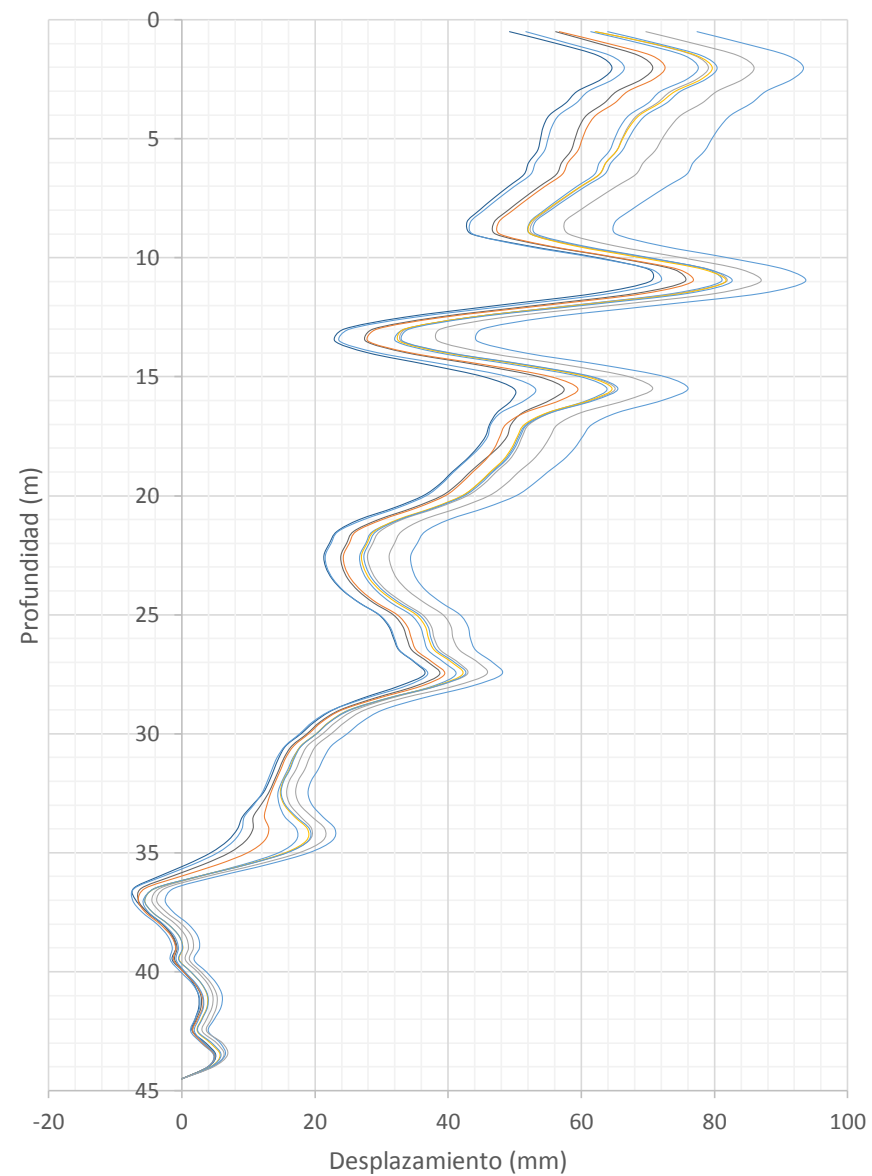
PI-10 B



PI-11 A

Azimut: 323°

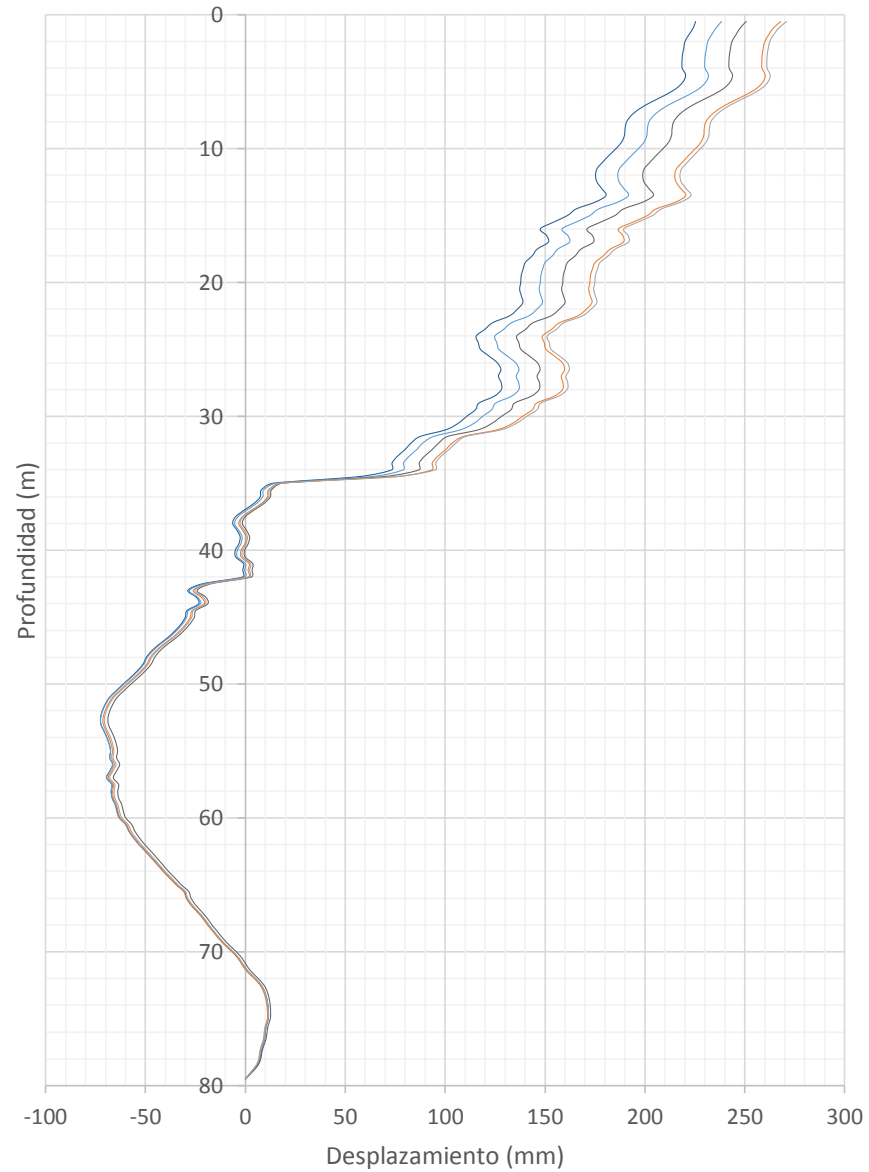
PI-11 B



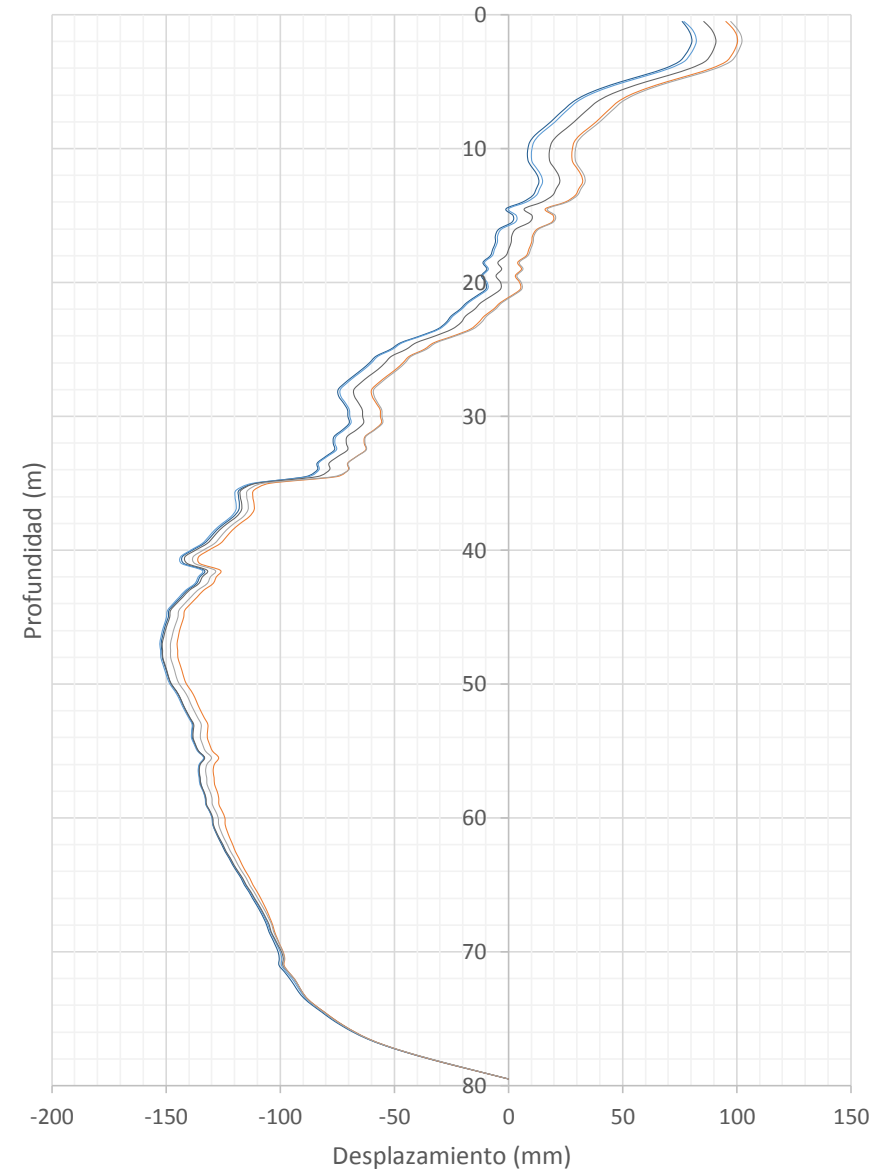


Azimut: 0°

PI-12 A



PI-12 B



PI-13 A

Azimut: 125°

PI-13 B

